Exposition Internationale de San Francisco

Participation de la France

(Ministère des Travaux Publics)

Le Développement des Travaux Publics en France

sous la IIIe République

L'Œuvre des Ingénieurs Français à l'Étranger

1870-1915

Paris
IMPRIMERIE CHAIX
1915

Exposition Internationale de San Francisco

Participation de la France

(Ministère des Travaux Publics)

Le Développement des Travaux Publics en France

sous la IIIe République

L'Œuvre des Ingénieurs Français à l'Étranger

1870-1915

Paris

IMPRIMERIE CHAIX

1915

International Exposition of San Francisco

Participation of France

(Minister of Public Works)

The Development of Public Works in France under the Third Republic

The Works of French Engineers Abroad

1870-1915

Paris

PRINTING CHAIX

1915

Digitized by the Internet Archive
in 2017 with funding from
This project is made possible by a grant from the Institute of Museum and Library Services as administered by the Pennsylvania Department of Education through the Office of Commonwealth Libraries

https://archive.org/details/ledeveloppementd00fran

Avant-propos.

La présente brochure a pour but de signaler, d'une façon générale et sommaire, les extensions et perfectionnements apportés dans l'outillage national de la France depuis une quarantaine d'années, c'est-à-dire sous le gouvernement de la troisième République. On s'est attaché à y montrer l'importance des travaux exécutés, l'accroissement de trafic et, par suite, de prospérité qui en est résulté pour le pays dans les diverses branches des travaux publics : Chemins de fer, Routes et chemins vicinaux, Canaux et rivières navigables, Ports maritimes.

Dans chacune de ces branches, on a signalé plus particulièrement les travaux et ouvrages d'art qui méritent une mention spéciale pour leur originalité, leur hardiesse ou toute autre qualité susceptible de faire apprécier le Génie français. Plusieurs des ouvrages ainsi choisis, et dont une courte description est donnée, constituent d'ailleurs des types qui sont devenus classiques et qui ont été reproduits dans d'autres pays.

Une place spéciale a été ensuite consacrée aux principales entreprises exécutées à l'étranger par les Ingénieurs français, pendant les dernières années du siècle dernier, et surtout à celles récemment terminées ou encore en cours d'exécution. Il n'a pas été question de signaler tous les travaux confiés à des ingénieurs ou à des entrepreneurs français à la suite d'adjudications internationales, ni tous ceux dont l'initiative peut être revendiquée par eux ou par des financiers du même pays. On a simplement cherché à montrer, par quelques exemples, sous quelles formes variées, et avec quelle importance, le Génie français s'est manifesté dans un grand nombre de pays étrangers, non seulement en Europe, mais aussi dans la plupart des autres parties du monde.

Foreword.

The present pamphlet is intended to describe in a summary and general manner the extensions and improvements of the national public works and, so as to say, plant of France, for the last forty years, that is, under the Government of the third Republic. It will be seen that the extent of the work undertaken is first described, the increase of traffic and after, the prosperity resulting therefrom for the country in the divers branches of public works, Railways, Highways and Roads, Canals, Navigable Rivers and Sea Ports.

In each of these branches, attention has been called to works of public interest and of constructional art, such as bridges, tunnels, docks, etc., which are worthy of special mention on account of their originality, boldness of design and of any other quality susceptible of causing appreciation of French genius. Several examples of such work thus chosen, and of which a short description is given, are, besides, models which have become standard types and have been reproduced in other countries.

A special place has been reserved for the principal work carried out abroad by French engineers during the last few years of the last century, and, above all, those recently finished or now being executed. It has not been a question of calling attention to all the work with which French engineers or contractors have been entrusted after international tendering for the contract nor to all those whose initiative can be claimed by them, or by financiers, of the same country. It has simply been a question of showing, by a few examples, under what varied forms and to what extent French genius has shown itself in a great number of foreign countries, not only in Europe, but also in most of the other parts of the world.

Chemins de fer.

Aussitôt après la fin de la guerre franco-allemande de 1870-1871, le premier souci du Gouvernement de la République fut de rétablir la continuité du réseau de chemins de fer aboutissant à la frontière de l'Est. La Compagnie de l'Est, qui avait perdu 840 kilomètres, reçut, dès 1873, la concession de 330 kilomètres destinés à relier les chemins de fer dont les jonctions primitives se trouvaient dans les provinces cédées à l'Allemagne.

Le grand programme de travaux publics voté en 1879, auquel le nom de M. de Freycinet restera attaché, comportait la construction de 8 800 kilomètres de lignes nouvelles. Les difficultés financières auxquelles aboutit l'exécution de ce programme conduisirent l'État à passer avec les six grandes Compagnies, qui possédaient la presque totalité des chemins de fer français, les conventions de 1883. Par ces accords, ces Compagnies acceptèrent, moyennant certaines conditions, d'incorporer dans leurs réseaux environ 12 000 kilomètres de lignes nouvellement construites ou rachetées par l'État.

Un peu avant, ce dernier avait assumé l'exploitation d'un réseau dit d'État, constitué par le rachat d'une dizaine de petites concessions, dont la longueur totale était d'environ 2 600 kilomètres. Enfin, en 1908, le réseau de la Compagnie de l'Ouest, dont la longueur était d'environ 6 000 kilomètres, était racheté par l'État.

Au 31 décembre 1911, la longueur totale des chemins de fer d'intérêt général était de 40 635 kilomètres se répartissant de la façon suivante entre les six grands réseaux :

Chemins de fer de l'État . . . . . kilom.	9 010
Compagnie des Chemins de fer du Nord	3 779
— — de l'Est	4 940
— — d'Orléans . . .	7 755
— de Paris-Lyon-Méditerranée	9 582
— des Chemins de fer du Midi	3 936
Compagnies diverses	1 633
LONGUEUR TOTALE	40 635

Le graphique page 9 montre comment la longueur des chemins de fer français d'intérêt général a passé de 17 500 kilomètres, en 1870, à 40 786 kilomètres en 1913, pendant que la dépense de premier établissement passait de 8 500 millions de francs à 20 milliards.

D'autre part, la longueur totale des chemins de fer d'intérêt local et tramways étant de 18 520 kilomètres, il en résulte que la longueur totale des voies ferrées françaises, en 1913, était de 59 306 kilomètres.

Le graphique relatif aux chemins de fer d'intérêt local et tramways montre l'influence de la loi du 11 juin 1880, qui a réglementé la situation de ces voies et renforcé l'appui qu'elles reçoivent de l'État.

En France, la largeur normale de la voie des chemins de fer d'intérêt

général et même de beaucoup de chemins de fer secondaires est, comme dans la plupart des pays, de 1m 44. Toutefois, depuis 1881, la voie de 1 mètre a été le plus souvent adoptée pour les chemins de fer d'intérêt local, quelquefois même on a adopté la voie de 0m60, qui a aussi été admise par l'autorité militaire pour ses chemins de fer de service.

Quant au matériel roulant, il a suivi en France à peu près la même évolution que dans les autres pays, de sorte qu'il n'y a rien de particulier à en dire. Les locomotives, notamment, ont vu leurs formes se rapprocher de celles des États-Unis et les types américains : Atlantic, Pacific, Mikado, Consolidation, sont depuis quelques années en grande faveur en France, aussi bien d'ailleurs que dans d'autres pays d'Europe.

Il y a lieu de noter, toutefois, que c'est à un ingénieur français, M. A. Mallet, que l'on doit l'application du système compound aux locomotives. Cette application, faite pour la première fois sur la petite ligne Bayonne-Biarritz, rencontra d'abord une vive opposition et, malgré les efforts inlassables de M. Mallet, ce ne fut qu'une quinzaine d'années plus tard qu'elle entra vraiment dans la pratique courante. Entre temps, l'inventeur avait d'ailleurs perfectionné son système par la création de la *locomotive compound à châssis articulé*, permettant la facile inscription de ces machines dans les courbes de la voie.

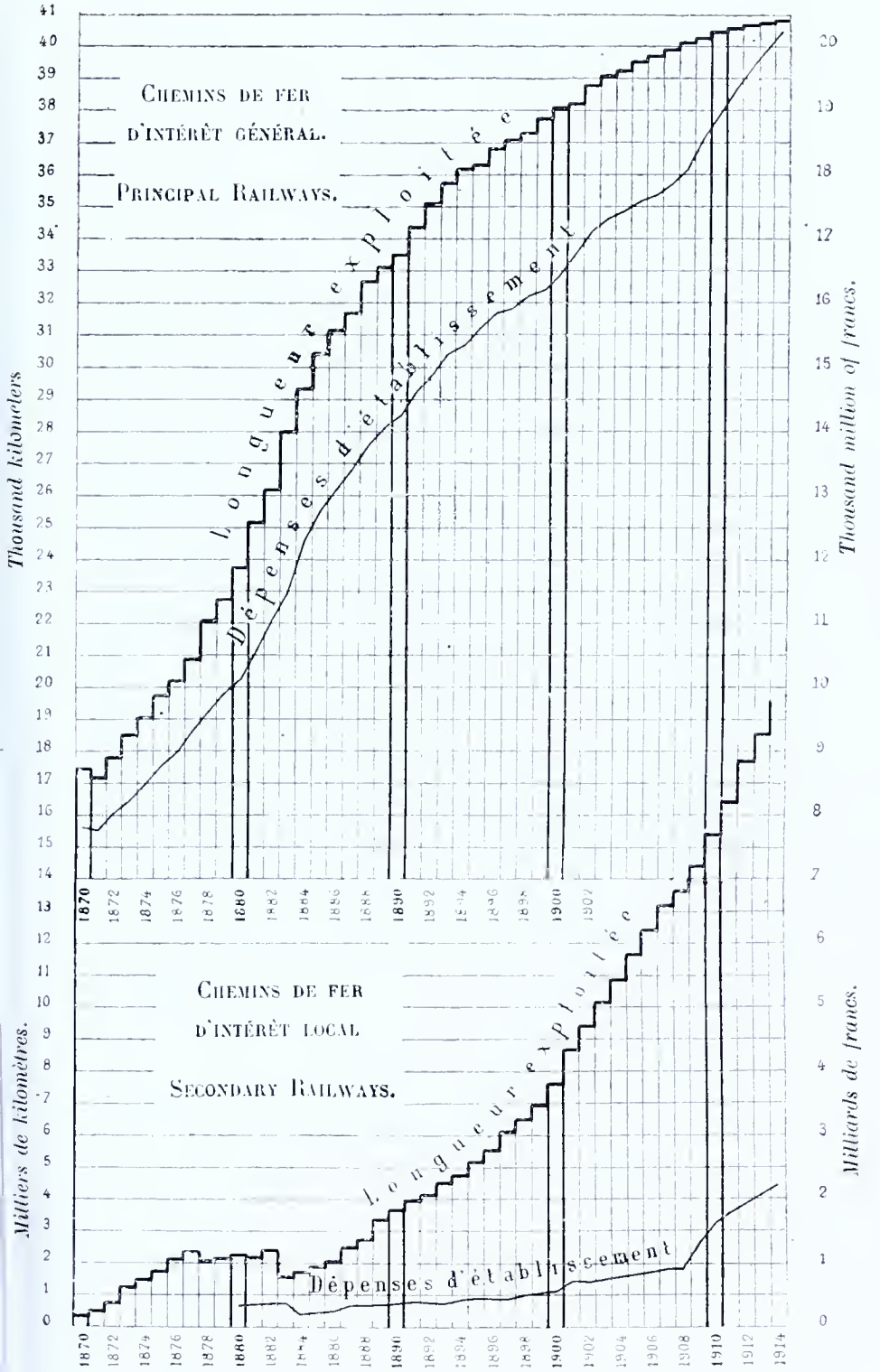
On sait combien sont maintenant répandues ces locomotives, qui comportent un double mécanisme alimenté par une seule chaudière. Il en existe des types innombrables, depuis la petite machine qui circule sur les voies de 0m60 jusqu'à l'énorme locomotive construite, en 1911, par les ateliers Baldwin, pour l'*Atchison and Topeka and Santa-Fè Railway*, qui pèse, avec son tender, 340 tonnes et qui peut développer un effort de traction d'environ 50 tonnes.

Un autre progrès important réalisé par des ingénieurs français, MM. du Bousquet et de Glehn, et appliqué sur le Chemin de fer du Nord en 1892, a été la construction de la locomotive compound à quatre cylindres. Ce type, spécialement créé pour les grandes vitesses, a été adopté non seulement par la plupart des Compagnies françaises, mais aussi dans beaucoup d'autres pays.

La locomotive représentée sur la page 13 est une locomotive compound à quatre cylindres et à surchauffe du type Pacific, timbrée à 16 kilogrammes, pesant en ordre de marche plus de 93 tonnes. Dans des essais effectués entre Laroche et Dijon, sur la partie la plus difficile de la grande artère Paris-Marseille, elle a pu remorquer, à une vitesse très voisine du maximum imposé de 115 kilomètres à l'heure, un train de 278 tonnes. Le travail moyen sur les pistons s'est élevé à 1 954 chevaux et les consommations correspondantes ont été de 1kg090 de charbon et de 7kg900 d'eau, ce qui constitue un rendement très remarquable.

Grâce à ces machines et à celles analogues des autres réseaux, la vitesse des trains de voyageurs les plus rapides atteint près de 100 kilomètres sur certains trajets. Déjà, en 1911, le trajet Paris-Saint-Quentin (réseau du Nord), de 154 kilomètres, était parcouru en 1 h. 33, soit à une vitesse moyenne de 99km40 à l'heure, qui était alors la plus grande réalisée dans toute l'Europe.

La traction électrique, qui tend à se généraliser non seulement sur les



Graphique montrant les longueurs et les dépenses d'établissement des chemins de fer français, de 1870 à 1913.

Curves showing the lengths and the construction expenses of the French Railways, 1870 to 1913.

tramways, mais aussi sur les chemins de fer d'intérêt local, n'a encore été l'objet que de peu d'applications sur les voies ferrées d'intérêt général. Depuis une quinzaine d'années, des installations importantes ont cependant été faites pour l'exploitation d'une partie des banlieues des réseaux de l'Orléans et de l'État, et ce dernier exécute en ce moment la généralisation de ce système pour toute sa banlieue.

Depuis 1902, la Compagnie P.-L.-M. a mis en service une ligne électrique qui permet l'accès facile de Chamonix, centre d'excursion du massif du Mont-Blanc, et depuis 1911 la Compagnie du Midi exploite la ligne électrique de Villefranche à Bourg-Madame, qui donne accès au cœur des Pyrénées-Orientales. D'autres lignes sont en construction ou à l'étude sur ces deux réseaux, mais il n'y a que la Compagnie du Midi qui ait entrepris actuellement l'emploi de la traction électrique sur une grande partie des lignes de son réseau (environ 700 kilomètres). Elle utilisera à cet effet des chutes hydrauliques, abondantes dans les Pyrénées.

Parmi les lignes les plus intéressantes entreprises dans ces dernières années, il convient de citer trois lignes internationales :

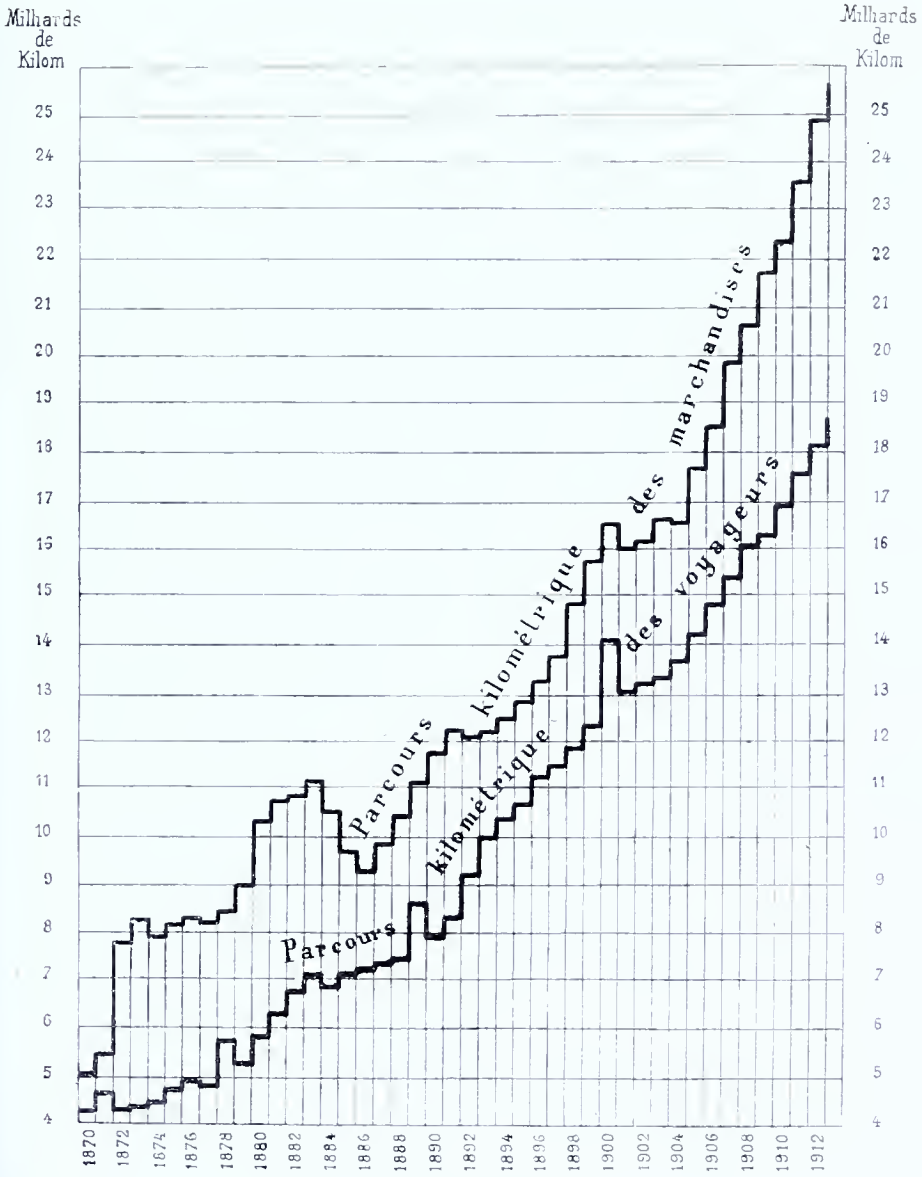
1° La *ligne franco-suisse de Frasnes-Vallorbe*, qui, par une percée du Jura sous le Mont-d'Or, améliorera très sensiblement l'accès de la France au Simplon, c'est-à-dire à l'Italie, en passant par Lausanne. Quelques détails sont donnés sur cette ligne à la page 18 ;

2° Deux lignes franco-espagnoles, actuellement en construction, qui franchiront les Pyrénées dans leur partie médiane, tandis que les deux lignes actuelles ne les traversent qu'à leurs extrémités : au bord de l'Océan ou de la Méditerranée. Ces deux lignes sont :

La *ligne d'Oloron à Zuera*, qui traverse le faîte des Pyrénées au-dessous du col de Somport par un souterrain de 7860 mètres : elle comporte une gare internationale unique, à la sortie même de ce souterrain, sur le versant espagnol. Elle est exécutée : par la France entre Oloron et le milieu du palier prévu au point culminant du souterrain du Somport, soit sur 53 kilomètres de longueur ; par l'Espagne entre ce dernier point et Zuéra ;

La *ligne d'Ax-les-Thermes à Ripoll*, qui franchit le faîte pyrénéen en un point où les deux versants sont français, par un souterrain de 5330 mètres établi au-dessous du col de Puymorens. Deux gares internationales y sont prévues de part et d'autre de la frontière et à faible distance de celle-ci, à Latour-de-Carol (France) et à Puycerda (Espagne). C'est la frontière, traversée cette fois à l'air libre, qui délimite les sections à construire par chacun des deux États. La section française a 41 kilomètres de longueur.

Enfin, il y a lieu de signaler les très importants travaux exécutés dans les gares terminus à Paris pour leur permettre de faire face à l'énorme accroissement de trafic. La gare Saint-Lazare, un des terminus des Chemins de fer de l'État, qui avait cependant été complètement refaite en 1888, est actuellement l'objet d'agrandissements considérables. La Compagnie Paris-Lyon complète les améliorations de son terminus et la Compagnie de l'Est va entreprendre des transformations importantes du sien. Quant à la Compagnie d'Orléans, on sait qu'elle a pu, il y a une quinzaine d'années, prolonger sa tête de ligne jusqu'au quai d'Orsay, en face du jardin des Tuileries, et qu'elle a construit là une gare à voyageurs avec une façade très artistique sur la Seine.



Graphique montrant l'accroissement du parcours kilométrique des marchandises et des voyageurs des chemins de fer français, de 1870 à 1912.

Curves showing increase of lengths of travel of goods and passengers, on the French Railways, 1870 to 1912.

Railways.

As soon as the Franco-German war from 1870-1871 was finished the first care of the Republican Government was to again connect up the lines of railways leading to the eastern frontier. The Eastern Company having lost 840 kilometers working, since 1873 received a grant of 330 kilometers intended for connecting the railways, of which the first junctions were in the provinces given up to Germany.

The great programme of public works voted in 1879, to which the name of Mr de Freycinet will remain attached, comprised the building of 8 800 kilometers of new lines. The financial difficulties which accompanied the carrying out of this programme led the state in 1883, to make arrangements with the six Companies which held nearly the whole of the French railways. According to these arrangements, the Railway Companies accepted, in return for certain conditions, to incorporate about 12 000 kilometers of lines newly built or bought up by the State.

The State had, sometime before this, taken over the exploitation of a line called, The State Railway made up by the purchase of about ten small concessions of which the total length was about 2 600 kilometers, and, in 1908 the purchase by the State of the Western Company, of which the total length was about 6 000 kilometers, was concluded.

On the 31st December 1911, this total length was 40 635 kilometers, divided up between the six great lines as follows :

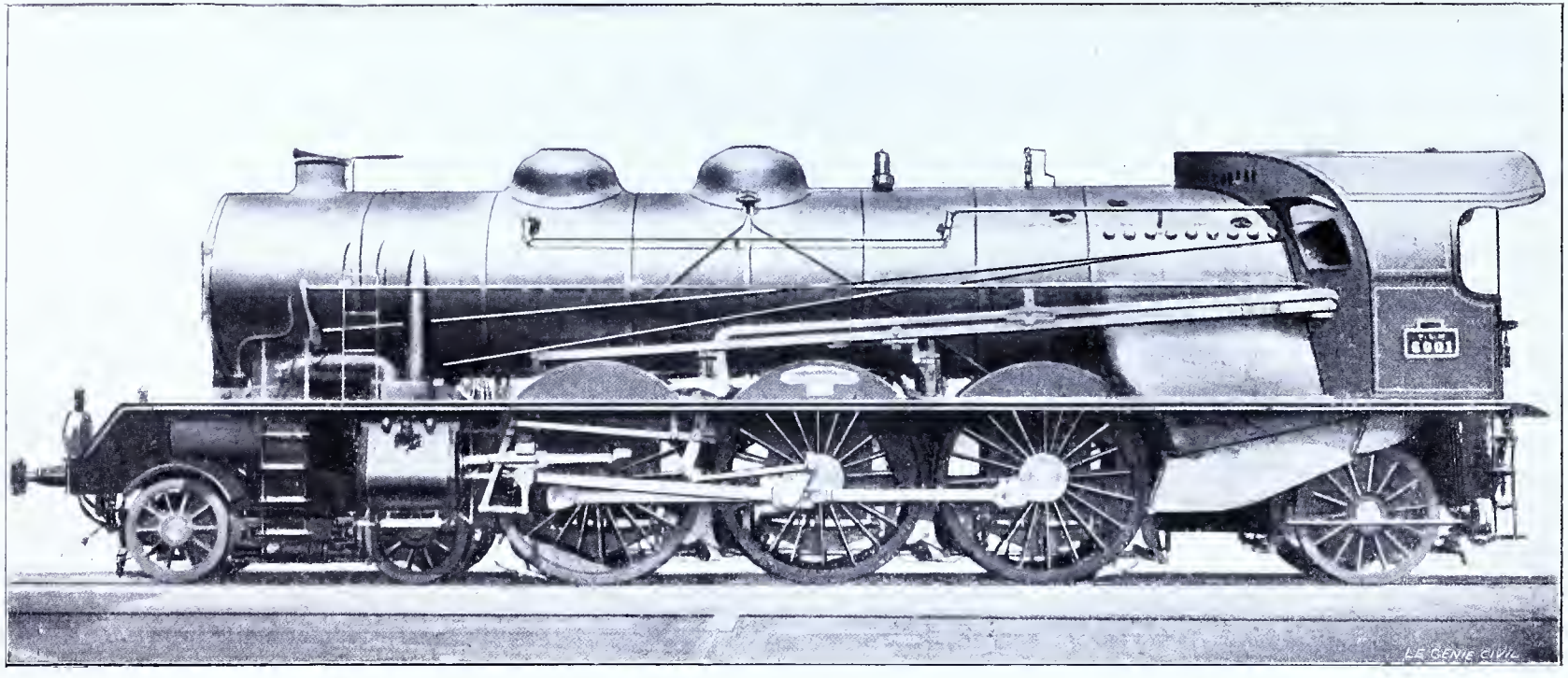
Chemins de fer de l'État . . . . . kilom.	9 010
Compagnie des Chemins de fer du Nord.	3 779
— — de l'Est	4 940
— — d'Orléans	7 755
— de Paris-Lyon-Méditerranée	9 582
— des Chemins de fer du Midi.	3 936
Divers Companies	1 633
TOTAL LENGTH	40 635

The diagramm herewith shows how the length of the French lines increased from 17 500 kilometers, in 1870, to 40 786 kilometers in 1913, during which time the first cost passed, for the same period, from 8 500 million francs to 20 thousand millions.

The diagram relating to the local railways and tramways shows the influence of the law of 11th of June 1880, which regulated the situation of the lines and strengthened the support which they received from the State.

On the other and, the total length of the local railways and the tramways being 18 520 kilometers, the total length of the French lines is 59 306 kilometers.

In France, the normal width of the lines and of even many secondary railways is, as in most countries, 1m 44. Since 1881, however, the 1 meter track has been most often adopted for the local railways ; in some cases,



Locomotive Pacific compound à quatre cylindres, pour trains rapides, de la Compagnie P.-L.-M.

Pacific compound, four cylinders locomotive for fast trains, Compagnie P.-L.-M.

even the $0^{m}60$ gauge has been adopted, which has also been accepted by the military authorities for their service railways.

As to the rolling stock, it has followed, in France, nearly the same evolution as in other countries, so that there is noting in particular to say about this. It is particularly the form of the locomotives which has been made to approach those of the American type : Atlantic, Pacific, Mikado and Consolidation, types have been in great favour in France for some years past as well as in other European countries.

It should be noted, however, that it is to a French engineer, Mr A. Mallet, that the adoption of the compound system to Locomotives is due. The first application made on the little line, Bayonne-Biarritz, encountering very strong opposition, and, in spite of the untiring efforts of Mr Mallet, it was only about fifteen years later that its practical application became current. Meanwhile the inventor had also perfected his system by the design of the compound locomotive with hinged frame allowing the easy following of curves by these locomotives.

This type of locomotive with double driving year and having only one boiler is, as now recognized, much used. There are innumerable types of same, from the small locomotive which runs on the $0^{m}60$ lines, to the enormous locomotive built in 1911, by the Baldwin works for the Atchison and Topeka and Santa-Fe Railway, which weighs, with its tender, 340 tons and which can exert a draw bar effort of about 50 tons.

Another important progress made by French engineers, Mr du Bousquet and Mr de Glehn, and utilised by the Northern Railway (Chemin de fer du Nord) in 1892, was the building of the four cylinder compound locomotive. This type of engine was specially designed for high speed and has been adopted not only by most of the French Companies but in many other countries.

The locomotive shown on page 13 is of the compound Pacific superheater type with four cylinders, steam pressure 16 kilogrammes ; and weighs, in running order, more than 93 tons. In trials carried out between Laroche and Dijon, on the most difficult part of the great main line between Paris and Marseilles, it was able to draw, at a speed approaching the maximum specified of 115 kilometers per hour, a train of 278 tons. The maximum work done on the pistons amounted to 1954 horse power, the corresponding coal and water consumptions being 1 090 kilogrammes and 7 909 kilogrammes respectively, which is really a most remarkable efficiency.

It is owing to these engines and to similar ones on the other lines, that the largest express trains now reach a speed of nearly 100 kilometers on certain runs. Already in 1911, the run from Paris to Saint-Quentin (on the Northern Railway) of 154 kilometers, was done in 1,33 hour or at a mean speed of $99^{km}40$ per hour which was then the greatest attained in the whole of Europe.

Electric traction, which is now becoming generalised not only for tramway service but also on local railways, has not yet been much adopted on the other railways. For fifteen years past large plant has been put down for the electrification of a part of the suburban lines of the State

Pavillon de la cour de Rome.
Building of the Rome Court.

Au milieu, Hôtel Terminus.
In the middle, Hôtel Terminus.

Pavillon de la cour du Havre.
Building of the Havre Court.

Gare Saint-Lazare à Paris, terminus principal des Chemins de fer de l'État.
Station of Saint-Lazare at Paris, Principal Terminal of the State Railways.

La gare Saint-Lazare donne lieu à un mouvement annuel de 60 millions de voyageurs, expédiés ou reçus (banlieue et grandes lignes), et à un mouvement de trains (entrées et sorties) de 1 200 par jour.

The annual number of passengers in the Saint-Lazare station is 60 million (suburban and express trains). The number of trains (coming in and backing out the station) is 1 200 every day.

and Orleans railways, and the last mentioned is at present carrying out the electrification of the whole of its suburban lines.

The P. L. M. Company has, since 1902, put into operation an electric line which allows of easily reaching Chamonix, a centre for excursions on the heights of Mont-Blanc, and since 1911, the Midi Company has been running an electric line from Villefranche to Bourg-Madame, which allows of reaching the heart of the Pyrénées-Orientales. Other lines are being built or are under consideration in connection with these two lines, but it is only the Midi Company which has now undertaken to adopt electric traction on a large portion of its lines (about 700 kilometers) The abundant water power in the Pyrénées will be utilised for this purpose.

Amongst the most interesting lines built on later years it is useful to mention three international lines :

1. *The Franco-Swiss line from Frasnes-Vallorbe*, which, cut through the Jura range, under the Mont-d'Or, will very much improve the entry from France into the Simplon, that is to say into Italy, by passing through Lausanne. A few particulars of this line are given on page 19.

2. *Two Franco-Spanish lines* now building, which will cross the Pyrénées through the centre whilst the two existing lines only cross at each end : on the side of the Ocean or on the Mediterranean side. These two lines are :

The line from Oloron to Zuera, which crosses the ridge of the Pyrénées above the "Col de Somport" by a tunnel 7 860 meters long, and has one international station only, at the end of the tunnel on the Spanish slope. It was built by France between Oloron and the middle of the platform at the culminating point of the Somport tunnel, that is for a length of 53 kilometers : by Spain between this last mentioned point and Zuera.

The line from Aix-les-Thermes to Ripoll, which crosses the ridge of the Pyrénées at a point where the two sides are French, by a tunnel 5 330 meters, built below the "Col du Puymorens". Two international stations are provided for on either side of the frontier and at a the small distance therefrom, at Latour-de-Carol (France) and at Puycerda (Spain). It is the frontier, now crossed in the open air, which marks the boundaries between which the sections are to be built by each of the two States. The French section is 41 kilometers long.

We would also mention the very important work undertaken in connection with the Paris terminus stations in order to meet the enormous increase of traffic. The Saint Lazare Station, one of the State railway terminus, which was completely rebuilt in 1888 is now being considerably enlarged. The P. L. M. Company is now completing the improvements of its terminus and the Eastern Railway is going to carry out some most important modifications of its terminus. As to the Orleans Company, it is known, of course, that about fifteen years ago, the head of the line was carried forward to the Quay d'Orsay, in front of the Tuileries Gardens, on the other bank of the Seine, and that a passenger station was built there with a very artistic facade along the Seine river.

Gare à voyageurs du Quai d'Orsay, à Paris, terminus de la Compagnie d'Orléans.
Passengers Station of Quai d'Orsay, at Paris, Terminal of the Compagnie d'Orléans.

Intérieur de la gare du Quai d'Orsay.
Inner view of the Quai d'Orsay Station.

Ligne franco-suisse de Frasne à Vallorbe et tunnel du Mont-d'Or.

Le percement du tunnel du Mont-Cenis assura à la France une suprématie incontestable pour les communications entre l'Italie et le nord-ouest de l'Europe, mais l'ouverture du Saint-Gothard porta une grave atteinte à cette situation privilégiée en favorisant l'Allemagne.

Le percement du Simplon, ouvrant une voie nouvelle entre la France et l'Italie, à travers la Suisse occidentale, a pu rétablir l'ancienne situation, mais à condition d'améliorer les voies qui y aboutissent. C'est dans ce but que la Suisse, soutenue par des influences françaises très importantes, a entrepris le tunnel du Lœtschberg (14 605 mètres) et la construction de la ligne dite Chemin de fer des Alpes bernoises. Cette ligne, complétée par le raccourci Montier-Granges (voir la carte, page 19), fournit un trajet très direct entre Paris et Milan par Belfort, Delémont, Berne, le Lœtschberg, Brigue et le Simplon, soit 853 kilomètres.

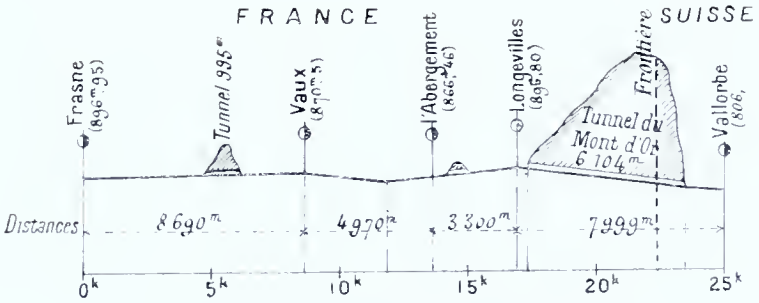
Le raccourci Frasne-Vallorbe a pour but également d'améliorer le trajet Paris-Milan, mais en agissant sur l'itinéraire suivant : Pontarlier, Lausanne, Martigny, Brigue et le Simplon, dont la longueur totale est de 832 kilomètres. Le raccourci, presque en ligne droite, permet, en évitant Pontarlier, de gagner 17 kilomètres sur une longueur de 42 kilomètres. De plus, les déclivités maxima sont ramenées de 25 à 15 millimètres par mètre, et le point culminant abaissé de 116 mètres, soit de la cote 1 012 à la cote 896. Cette ligne, de 25 kilomètres de longueur, comprend un tunnel dont l'exécution a présenté de très grandes difficultés par suite de venues d'eau extraordinaires.

Le souterrain du Mont-d'Or, long de 6 400 mètres (5 409 mètres en France, et 991 en Suisse), est, en plan, rectiligne sur 5 403 mètres à partir de la tête France; il se termine du côté Suisse par une courbe de 700 mètres de rayon, longue de 697 mètres.

Étant donné son profil en long, à pente unique vers la Suisse, le souterrain devait être exécuté, à partir de la tête Suisse, comme la moitié d'un tunnel à double pente et de longueur double. On pouvait évidemment l'attaquer en outre par la tête France, et c'est ce qui fut fait, mais, en raison de la difficulté de l'épuisement des eaux à contre-pente, le rôle de ce dernier chantier devait être très réduit.

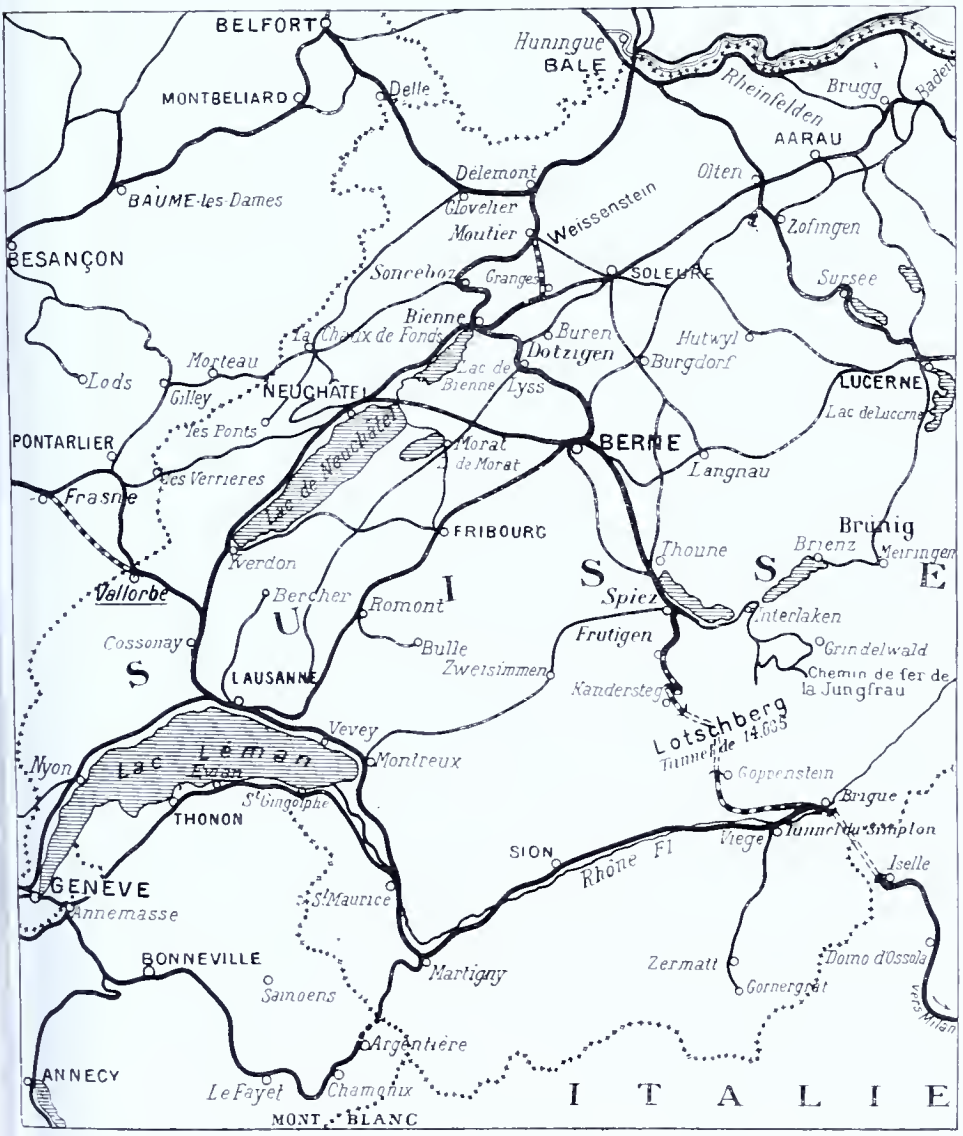
Du côté Suisse, pendant plus de 4 kilomètres, les travaux suivirent leur cours normal, mais, le 23 décembre 1912, le tampon d'argile qui fermait une petite faille de 50 à 60 centimètres de large céda, donnant issue à une cascade qui jaillit dans la galerie, du côté droit et à 1m 50 environ au-dessus du radier, avec un débit voisin de 3 000 litres par seconde et qui atteignit même, quelques jours après, 5 000 litres.

Les travaux entrepris pour se rendre maître de l'eau étaient terminés depuis peu de temps lorsqu'une nouvelle irruption, qui atteignit cette fois 10 000 litres par seconde, se produisit. Malgré tous ces accidents, le souterrain a pu être achevé sans un trop grand retard et la ligne sera mise en service dans le courant de l'année 1915.



Profil en long de la ligne Frasnes-Vallorbe.

Elevation of the Frasnes-Vallorbe railway.



Carte montrant les récentes voies d'accès au Simplon : tunnels du Lœtschberg, de Moutier-Granges et du Mont-d'Or, sur la ligne Frasne-Vallorbe.

Map showing the new lines of access to the Simplon : Lœtschberg, Moutier-Granges and Mont-d'Or tunnels, on the Frasne-Vallorbe railway.

The Franco-Swiss line from Frasne to Vallorbe and the Mont-d'Or tunnel.

The building of the Mont-Cenis tunnel gave France an incontestable supremacy in communications between Italy and the north-west of Europe, but the opening of the Saint-Gothard line gravely diminished the advantages of this privileged situation to the benefit of Germany.

The building of the Simplon tunnel, opening a new line between France and Italy across western Switzerland, allowed of again establishing the former situation but upon condition that the approaching lines were improved. It is under these conditions that Switzerland, strongly supported by French influence, undertook the Lœtschberg tunnel work (14 605 meters) and the building of the line called the Alpes bernoises Railway. This line, completed by the short cut, Moutier-Granges (see map, page 19), offers a very direct route between Paris and Milan, by Belfort, Delémont, Berne, le Lœtschberg, Brigue and the Simplon that is to say, a distance of 853 kilometers.

The short cut, Frasne-Vallorbe, is intended also to shorten the distance Paris-Milan, but with the following itinerary : Pontarlier, Lausanne, Martigny, Brigue and the Simplon, the total length of which is 832 kilometers. The short cut, nearly in a straight line, allows, in avoiding Pontarlier, to gain 17 kilometers in a length of 42 kilometers. The steepest inclines are also reduced from 25 to 15 millimeters per meter gradient and the highest point reduced by 116 meters, or from the 1012 level to that of 896. This line, 25 kilometers long, comprises a tunnel, the building of which has presented very great difficulties, on account of the extraordinary inrush of water at different parts of the workings.

The Mont-d'Or tunnel, length 6 100 meters (5 109 meters in France, and 991 meters in Switzerland) is, in its horizontal plane, rectilinear for a distance of 5 403 meters from the French side; it ends on the Swiss side by a curve of 700 meters radius length of which is 697 meters.

Taking into consideration its long profile with an incline only towards Switzerland, the tunnel was to be built, from the Swiss end, like the half of a tunnel with a double incline and double length. The building of the tunnel could evidently be commenced from the French side and it was this which was done, but, on account of the difficulty in connection with pumping water up the incline, the work at this end could only be slow.

On the Swiss side, for more than 4 kilometers the work followed its normal course, but on the 23 of December 1912 the clay filling which closed a small crack of 50 to 60 centimeters width gave way to a stream of water which spouted out into the gallery from the right side and at about 1m 50 above the floor, the quantity being about 3 000 litres (3 tons) per second and which even reached 5 tons a few days after.

The work undertaken to stop this inrush of water had only been finished a short time when a new inrush occurred which reached, this time, 10 tons per second. In spite of all these accidents, the tunnel was finished without too much delay and the line will be working regularly in 1915.

Viaduc de Garabit.

Le viaduc de Garabit a été construit en 1884, sur le torrent de la Truyère, pour la traversée du chemin de fer de Marvejols à Neussargues, dans le massif central de la France. Il appartient au type d'ouvrage créé en 1875, pour le pont du Douro, à Porto, par M. Eiffel, le constructeur bien connu. Ce type se prête particulièrement à la traversée des vallées de grande profondeur.

L'ouvrage se compose d'une grande arche centrale de 165 mètres d'ouverture et de 52 mètres de flèche, sous intrados; l'épaisseur de l'arc à la clef est de 10 mètres; cette épaisseur va en diminuant vers les naissances et se termine par une rotule en fer qui transmet les pressions à un massif en maçonnerie. L'arc est composé de deux fermes distantes de 20 mètres au niveau des naissances et présentant un fruit de 0,111, de sorte qu'au sommet de l'arc l'écartement des fermes n'est plus que de 6^{m} 28. La forme adoptée par cet arc est une parabole.

La hauteur maxima, du niveau des rails au fond de la vallée, est de 122 mètres et la hauteur des piles métalliques qui encadrent l'arc est de 60^{m} 74.

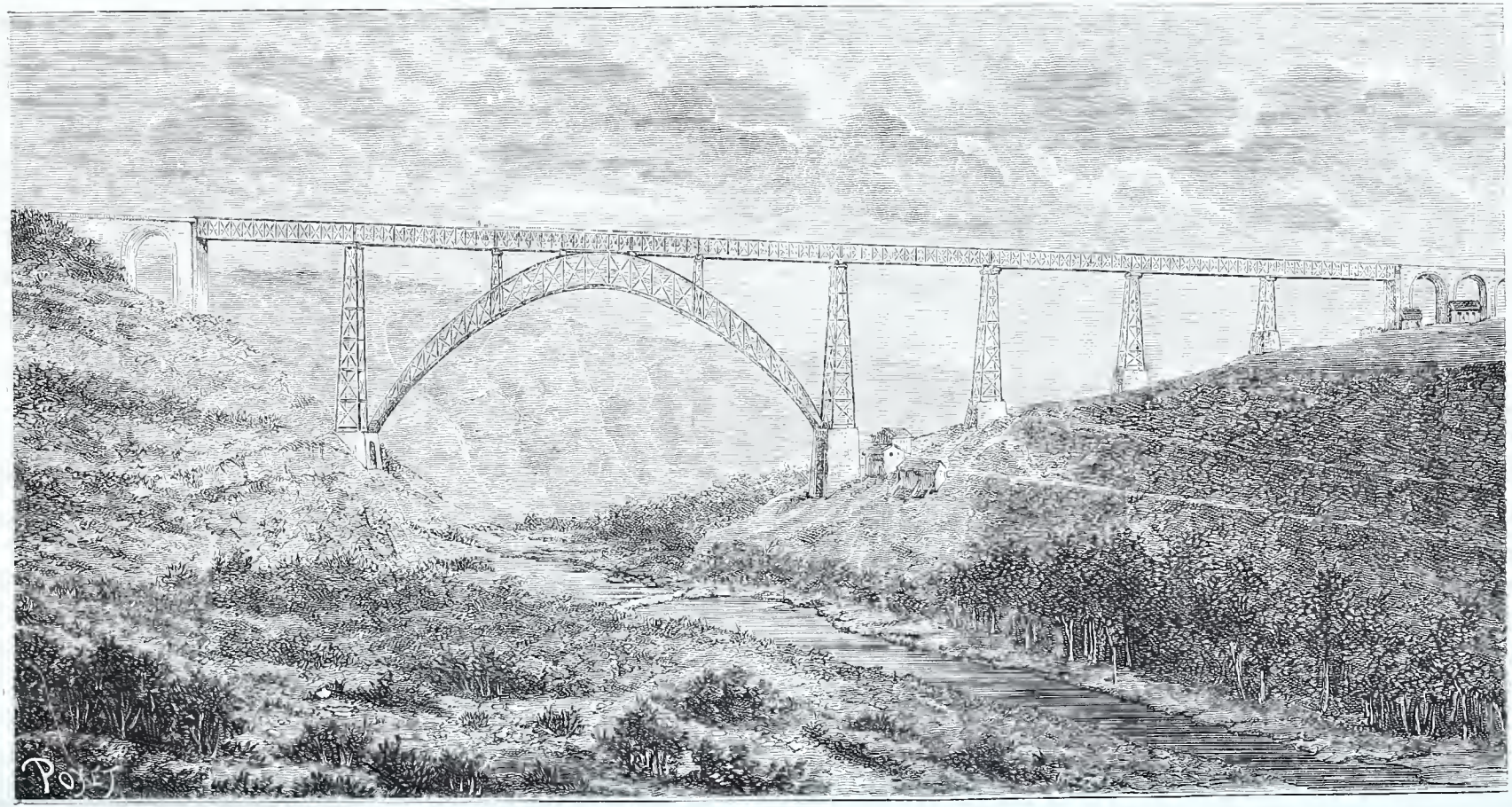
Les rails sont supportés par un tablier métallique dont les poutres en treillis ont 5^{m} 16 de hauteur. La voie est placée à 1^{m} 66 au-dessous des semelles supérieures, de sorte que, en cas de déraillement, les véhicules puissent être arrêtés par les poutres principales. Cette disposition a, en outre, l'avantage de réduire la résistance de ces véhicules au vent.

L'arc est continué, du côté de Marvejols, par un viaduc composé de trois arches en maçonnerie de 15 mètres d'ouverture et de quatre travées métalliques de 51^{m} 80 à 55^{m} 55 de portée; du côté de Neussargues, par un viaduc ne comportant qu'une arche de 15 mètres et une travée de 51^{m} 80. Sur chaque rive, la partie correspondante du tablier a été construite sur plates-formes et mise en place par lancement. Les deux parties ont ainsi été avancées d'une douzaine de mètres en porte à faux au-dessus du grand arc, puis leur construction a été continuée en porte à faux en même temps que celle des demi-arcs correspondants.

La longueur totale de la partie métallique est de 447^{m} 82, et celle de l'ouvrage complet de 564 mètres.

L'ensemble du viaduc de Garabit a coûté 3 200 000 francs, dont 2 millions 350 000 francs pour la partie métallique et 850 000 francs pour la maçonnerie. Le prix par mètre courant ressort à 5 800 francs environ.

L'ouvrage a été exécuté par M. Eiffel, d'après ses projets en ce qui concerne la partie métallique, sous la direction des ingénieurs de l'État : MM. Bauby, Lefranc, Boyer.



Viaduc de Garabit : ouverture de l'arc, 165 mètres.

Garabit Viaduct : clear span of the arch, 165 meters.

The Garabit Viaduct.

The Garabit viaduct was built in 1884, over the river Truyère, for the Marvejols to Neussargues Railway in the central mountainous district of France. It is the same type of structure as that designed in 1875 by Mr Eiffel, the well known constructor, for the Douro bridge at Porto This type of bridge is particularly adaptable to the crossing of very deep valleys.

The structure comprises a large arch of 165 meters opening and 52 meters rise under the intrados, the depth of the arch at the centre being 10 meters, which diminishes towards the springings, the thrust being taken on iron pivoted ends which transmit the pressure to the masonry abutments. The arch comprises two girders, 20 meter apart at the springings, with slope of $0^{m}111$, so that the space between the girders at the top is only $6^{m}28$. The form adopted for this arch is that of a parabola.

The maximum height from the level of the rails to the bottom of the valley is 122 meters and the height of the steel pillars framing the arch is $60^{m}74$. The rails are carried on a steel platform upon trellis girders, the height of which is $5^{m}16$. The track is placed at $1^{m}66$ below the upper plates of the girder so that, in case of derailment, the train would be stopped by the principal girders. This arrangement has also the advantage of reducing the wind pressure on the trains.

The structure is continued on the Marvejols side by a viaduct comprising three masonry arches of 15 meters opening, and four steel straight girders of $51^{m}80$ to $55^{m}55$ span; on the Neussargues side by a viaduct of one arch only and a straight steel span of 5 180 meters. On each side, the corresponding part of the superstructure was constructed on platforms and launched into position. The two parts were thus advanced a dozen meters, overhanging the large arch and then their overhanging construction continued at the same time as that of the corresponding half arches.

The total length of the steel structure is $447^{m}82$ and that of the whole structure 564 meters.

The whole of the Garabit viaduct cost 3 200 000 francs, of which 2 350 000 francs for the steel part and 850 000 francs for the masonry. The price per linear meter comes out at about 5 800 francs.

The work was carried out by Mr Eiffel, under the direction of the State engineers, Messrs Bauby, Lefranc and Boyer.

Viaduc du Viaur.

Le viaduc du Viaur, sur la ligne de Carmaux à Rodez, franchit, à 116 mètres de hauteur, la gorge de la rivière du Viaur, séparant les départements du Tarn et de l'Aveyron. Ce viaduc, commencé en 1895, constitue le premier ouvrage de très grande portée dans lequel on a réalisé le système d'arc à trois rotules, partiellement équilibré par des encorbellements.

La travée centrale, de 220 mètres d'ouverture, est formée de deux ossatures symétriques qui s'arc-boutent à la clé sur une rotule de 0m 20 de diamètre. Ces deux ossatures reposent, de chaque côté, sur des appuis en maçonnerie au moyen de sabots également articulés et se prolongent au delà pour former encorbellement.

Les extrémités de ces encorbellements sont reliées aux culées par des travées métalliques indépendantes de 25 mètres de portée, lesquelles reposent sur des appuis spéciaux permettant la libre déformation de l'arc central et le jeu de ses articulations.

Le garde-corps est constitué par une poutre très robuste de 1m 90 de hauteur, capable de maintenir sur l'ouvrage un train déraillé.

La longueur totale de l'ouvrage est de 460 mètres, y compris les deux petits viaducs formant culées, de 21 et 29 mètres de longueur. La longueur de la partie métallique est de 410 mètres.

Le poids total des métaux est de 3 734 tonnes.

La dépense a été de 3 millions de francs, et le prix de revient par mètre carré en élévation de vide à franchir ressort à 110 francs.

La partie la plus intéressante de la construction a consisté dans le montage en porte à faux de l'arc central à l'aide d'un engin spécial comprenant deux grandes poutres très solidement ancrées à l'arrière aux membrures supérieures et s'avançant d'une vingtaine de mètres dans le vide. Ces poutres servaient de support à une voie sur laquelle circulait un chariot auquel était suspendu un échafaudage à plusieurs étages. Une grue électrique pivotante de 5000 kilogr. servait à la mise en place des pièces.

Pour maintenir l'équilibre de la charpente pendant le montage en porte à faux de la partie centrale, on avait solidement amarré l'extrémité de chaque encorbellement à l'aide d'un système de bielles verticales fixées à leur partie inférieure à un massif de maçonnerie établi spécialement à cet effet. Après l'achèvement du montage en porte à faux, on a pu, en agissant sur les écrous dont étaient munies les bielles inférieures, amener les deux ossatures au contact avec les rotules de la clé.

Les travaux, commencés en 1895, ont été terminés en 1902.

Cet ouvrage a été exécuté, sous le contrôle des Ingénieurs de l'État, par la Société de Construction des Batignolles, à Paris, à la suite d'un concours entre les principaux constructeurs.

Viadue du Viaur : ouverture de l'arc, 220 mètres.

Viaur Viaduct : clear span of the arch, 220 meters.

The Viaur Viaduct.

The Viaur Viaduct, on the line from Carmaux to Rodez, reaches over the Viaur river gorge, which separates the Tarn and Aveyron departments at a height of 116 meters. This viaduct, commenced in 1895, is the first structure of large span in which the system of a three hinged arch has been used and partly balanced by arched cantilevers.

The centre span has an opening 220 meters and is formed by two arched symetrical members, the thrust in centre being taken by a pivot or hinge of 0.20 meter diameter. The thrust proper of these two members of the arch is taken by masonry abutments and shoes with the same rocker hinge arrangement, and two cantilevers spring from each abutment of the arch and are connected to the masonry approaches by independent girders of 25 meter span, which rest on special expansion brackets in order to allow for the deformation of the central arch and the play of its rocker hinges.

A protective railing or curb, capable of keeping a derailled train on the structure, is provided for by a very strong girder 1.90 meter high.

The total length of the structure is 460 meters, including the two small viaducts forming abutments, 21 and 29 meters long. The length of the metallic part is 410 meters.

The total weight of metal is 3,734 tons.

Cost, 3 million francs, and the cost price per square meter of opening traversed in elevation comes out at about 110 francs.

The most interesting part of the construction has been the overhanging erecting of the central arch by a special contrivance composed of two girders very solidly anchored at the back to the upper members with an overhang of about twenty meters. These girders carried a track for the traveller to which was secured a scaffold having several floors. A 5 tons electric crane was used for handling the members.

To maintain the balance of the structure whilst carrying out the overhanging erection of the middle arch, the extremity of each cantilever was securely anchored, by means of vertical eye bars at their lower part, to a block of masonry specially provided for that purpose. After the overhanging erection was finished, the two members were drawn together at the pivoted extremities and keyed by acting on the nuts at the lower ends of the eye bars.

The work was commenced in 1895, and finished in 1902.

The work was carried out, under the control of State Engineers, by the Société de Construction des Batignolles, after tenders having been submitted by the principal engineering firms.

Viaduc des Fades.

Le viaduc des Fades a été construit, en 1902-1909, sur la vallée de la Sioule, pour le passage du chemin de fer d'intérêt général de Saint-Éloy à Volvic (Puy-de-Dôme).

Il est à voie unique et se compose d'une travée métallique indépendante à poutres droites de 52 mètres de portée, et de trois travées métalliques à poutres droites continues, présentant, d'axe en axe des appuis, des portées de 115m 20 pour les travées de rive et de 144 mètres pour la travée centrale.

La longueur totale de l'ouvrage est de 470m 25 : le rail est à l'altitude de 576m 50, soit à 132m 50 au-dessus du fond de la vallée.

Les deux piles, en maçonnerie, sont peut-être les plus grandes qui aient jamais été construites. Elles ont, à droite et à gauche de la travée centrale, une hauteur de 92m 33 au-dessus du massif de fondation, dont la hauteur est de 7m 50. Leur section est rectangulaire : la petite face, parallèle aux rails, varie, du haut en bas, de 5m 50 à 11m 64, et la grande face de 11 mètres à 21m 96 : la variation est obtenue par une courbe parabolique. Ces piles sont évidées intérieurement.

La pile-culée qui, sur la rive gauche, sépare la travée de 52 mètres de la travée de 115m 20, ne s'élève, au-dessus du massif de fondation, qu'à une hauteur de 32m 90, mais ce dernier descend, en outre, jusqu'à une profondeur de 44m 64 en dessous du socle : en plan, il présente une largeur de 13m 73 sur une longueur de 17m 01. Ces dimensions ont été nécessitées par la découverte, en pleine masse granitique et à 35 mètres environ de profondeur, d'une faille d'argile inclinée qui règne dans tout le coteau rive gauche. Lorsque cette faille est mouillée, la masse supérieure glisse sur la masse inférieure. Pour obvier à cet inconvénient, des travaux d'assainissement très importants ont été exécutés : ils consistent en galeries souterraines présentant une largeur de 2 mètres à la base et de 1m 50 au sommet, avec une hauteur de 2 mètres. Ces galeries ont leur base encastrée dans le granit en place : elles ont été remplies avec de la pierre sèche et un caniveau étanche a été disposé en leur milieu pour conduire les eaux au dehors. Elles ont été creusées dans un rocher dur, mais fissuré et instable, et leur longueur atteint 500 mètres.

Le montage du tablier a été exécuté en porte à faux et la jonction des deux moitiés de la travée centrale s'est effectuée sans difficulté, grâce à la précision des mesures prises à cet effet.

Les caractéristiques principales du viaduc sont les suivantes :

Superficie totale en élévation du viaduc.	m²	32 767
Cube total des maçonneries.	m³	37 135
Poids total de la partie métallique	kilogr.	2 603 786
Dépense totale.	fr.	3 671 867

Cet ouvrage, projeté par les ingénieurs du Corps des Ponts et Chaussées, a été exécuté sous leur contrôle par la Société Française de Constructions Mécaniques (anciens Établissements Cail).

The des Fades Viaduct.

The des Fades viaduct was built in 1902-1909, over the Valley of the Sioule for the line of railway "d'intérêt général" from Saint Eloy to Volvic (Puy-de-Dôme).

It has a single track and comprises an independent straight steel span of 52 meters, and three straight steel girders in succession having a span from centre to centre of supports of 115m 20 for the shore bays and 144 meters for the central bay.

The total length of the structure is 470m 25; the rails are at an altitude of 576m 50 or 132m 50 above the bottom of the valley.

The two masonry abutment piers are perhaps the largest which have ever been built. They have, to the right and left of the central bay, a height of 92m 33 above the foundations, the height of which is 7m 5. They are of rectangular section, the smaller side, parallel to the rails, the top to the bottom varying from 5m 50 to 11m 64, and the largest side from 11 to 21m 96, the variation being obtained by a parabolic curve. The piers are not filled in.

The abutment pier on the left shore, separates the bay of 52 meters from the bay of 115m 20 and rises above the bed of the foundations to a height of 32m 90 only but this latter sinks however to a depth of 44m 64 below the socle: the plan of same shows a breadth of 13m 73 and a length of 17m 01. These dimensions were made necessary by the discovery in the solid granit of an inclined layer of clay throughout the whole slope of the left bank. When this layer is wet, the mass of upper strata slides on the lower. To avoid this trouble, important work was carried out in connection with drainage, which consisted in underground galleries having a width of 2 meters at the base and 1m 50 at the summit, the height being 2 meters. The galleries are built on the solid granit and are filled in with dry stone and a watertight culvert runs through them carrying the water outside. They were cut into the hard but unstable and split rock, and their length is 500 meters.

The erection of the superstructure was carried out on the overhanging principle, the junction of the two halves of the central bay girder being effected without difficulty, and due to careful measures of a precise nature having been taken to accomplish this.

The principal characteristics of the viaduct are as follows :

Total superficial area in elevation of the viaduct. .	m²	32 767
Cubic total of masonry	m³	37 135
Total weight of metal	kilogr.	2 603 786
Total expenditure	fr.	3 671 867

This structure was designed by the Engineer Corps of Ponts et Chaussées, and the work was carried out under their supervision by the Société des Constructions mécaniques, anciens Établissements Cail.

Viaduc des Fades : portée de la travée centrale, 144 mètres.

The Des Fades Viaduct : length of the central span, 144 meters.

Pont de Montanges.

Le pont, dit de Montanges, comporte une arche en maçonnerie de 80 mètres d'ouverture, c'est-à-dire une des plus grandes qui existent actuellement. Il a été construit, en 1908-1909, pour le passage sur le torrent de la Valserine, affluent du Rhône, du chemin de fer d'intérêt local de Bellegarde à Chézery, dans le département de l'Ain.

La rivière est encaissée entre deux berges constituées par de puissantes assises calcaires, présentant un front vertical de plus de 50 mètres de hauteur. C'est entre ces culées naturelles qu'a été jetée une arche qui, pour une ouverture de 80 mètres, a 1m 50 d'épaisseur à la clef et 2m 50 aux naissances. Sa largeur est de 5m 35.

Les tympans sont élégis au moyen de voûtelettes régnant d'une tête à l'autre, en plein cintre et ayant chacun 5m 30 d'ouverture.

Cette arche comporte une ouverture supérieure à celle de tous les ouvrages similaires en France. Elle est à une altitude au-dessus de la vallée plus grande que celle de tous les autres ponts en maçonnerie de très grande ouverture du monde entier. Cette hauteur est, en effet, de plus de 62 mètres.

The Montanges Bridge.

The bridge called « of Montanges », has one masonry arch of 80 meters, that is to say, one of the largest bridges existing at the present time. It was built in 1908-1909, for the passage over the Valserine torrent, an affluent of the Rhone, of the local railway, from Bellegarde to Chézery, in the Ain country.

The river is walled in between two shores consisting of massive calcareous stratum and presenting a vertical front of more than 50 m. high. It is between these natural abutments that an arch has been thrown of 80 m. span, the depth at the keystone being 1,50 and 2,50 m. at the springings. Its width is 5,35.

The tympans are lightened throughout by means of small arches, each of 5,30 opening.

The span of this arch is larger than that of all other similar structures in France. Its height above the valley is greater than that of all other masonry bridges of very large span in any part of the world, this height being more than 62 m.

Pont de Montanges : ouverture de l'arche, 80 mètres.

The Montanges Bridge : clear span of the arch, 80 meters.

Pont de La Roche-Bernard.

Ce pont a été construit, en 1910, en remplacement d'un pont suspendu très remarquable lui-même pour l'époque à laquelle il avait été édifié (1840), car il avait 193 mètres d'ouverture et 33 mètres de hauteur au-dessus des eaux de la Vilaine (Morbihan).

Le nouvel ouvrage comporte un tablier de 194 mètres de longueur et de 7 mètres de largeur, sur lequel repose la chaussée de 5m 50 de longueur, bordée de deux trottoirs de 0m 75. Cette chaussée porte sur l'un des côtés une voie de chemin de fer d'intérêt local.

Le tablier est supporté, à 33 mètres au-dessus des plus hautes eaux de la Vilaine, par un arc encastré comportant :

1° L'arc proprement dit, à trois articulations de 112 mètres de portée et de 15 mètres de flèche ;

2° Des retombées, constituant deux véritables piles métalliques inclinées, comprises entre les articulations de l'arc et les culées en maçonnerie ; leur projection horizontale, mesurée de l'axe de la base d'appui à leur sommet, est de 40 mètres, leur flèche est de 30 mètres.

Le montage a été effectué en porte à faux, sans appuis internes.

La construction de cet ouvrage, confiée, à la suite d'un concours, aux Établissements Daydé, a coûté environ un million de francs.

The La Roche-Bernard Bridge.

This bridge was built in 1910 to replace a suspension bridge, very remarkable in itself at the time it was erected (1840) for its span of 193 meters and height of 33 meters above the waters of the Vilaine (Morbihan).

This new bridge has a superstructure 194 m. long and 7 m. wide upon which the road, 5m 50 wide is placed with a footway each side of 0m 75. This roadway carries the single track of a local railway (Chemin de fer d'intérêt local).

The floor is carried, at 33 meters above the highest level of the Vilaine, by an arch bolted to the abutments comprising :

1° An arch, properly speaking, in three hinged parts, of 112 meters span and 15 meters rise.

2° The springings of the arch are, in reality, two metallic inclined piers between the hinges of the arch and the masonry abutments, their horizontal projection, measured from the centre of the base of the abutments to their summit, being 40 meters and their rise 30 meters.

The erection was carried out on the overhanging principle without inside timbering.

The contract for this structure was given to the firm of Mr Daydé after competitive offers having been made, and the cost was about one million francs.

Pont de la Roche-Bernard : longueur du tablier, 194 mètres.

The La Roche-Bernard Bridge : length of the platform, 194 meters.

Viaduc et pont tournant de Caronte.

Ce viaduc, qui a tout récemment été mis en service, est remarquable non seulement par sa longueur, mais aussi par un pont tournant qui en fait partie. Il permet à la ligne à deux voies de Miramas à l'Estaque (faubourg de Marseille) de franchir l'étang de Caronte (voir le plan de la page 101) et comporte un viaduc métallique de 950 mètres de longueur, comprenant dix travées fixes : deux de 51m 20, huit de 82m 50 et un pont tournant de 114 mètres de longueur (en deux volées égales). Ce dernier découvre une passe navigable de 43 mètres, qui se confond avec le canal de Marseille au Rhône, mais qui sert aussi d'accès à l'étang de Berre. C'est l'utilisation éventuelle de cet étang comme port de guerre qui a fait prévoir le pont tournant.

Le fond de l'étang de Caronte est de la vase molle reposant sur de l'argile et toutes les piles du viaduc, sauf une, ont été fondées à l'air comprimé. La pile n° 6 a été descendue jusqu'à 24m 58 sous la mer et le cube total des fouilles exécutées à l'air comprimé est de 39 000 mètres cubes.

La partie Nord du viaduc est constituée par deux travées métalliques solidaires ayant ensemble 103 mètres de longueur et dont les poutres ont 5m 42 de hauteur. Ces deux travées ont été mises en place par lançage.

Le pont tournant constitue un ouvrage très remarquable dont les poutres principales présentent une hauteur variant de 7m 60 à 13m 70. Le pont fermé repose sur sa pile, par l'intermédiaire d'un pivot et de deux appareils d'appui munis de coins et, sur les culées, par des excentriques à secteurs circulaires. Au moment de la rotation, le pont, décalé simultanément sur la pile et sur les culées, repose uniquement sur le pivot en bronze phosphoreux de 0m 830 de diamètre qui supporte alors une charge totale de 1 450 tonnes. C'est le plus important ouvrage du monde tournant sur un pivot.

Étant donnée la hauteur libre de 23 mètres qui existe entre le dessous des poutres du pont tournant et le niveau de la mer, ce pont ne sera ouvert que très rarement. On a donc pu admettre comme force motrice deux moteurs à essence de 100 chevaux chacun, dont un de secours, pour actionner les transmissions mécaniques qui assurent la rotation, le verrouillage et le calage.

La durée totale d'une manœuvre d'ouverture ou de fermeture, effectuée mécaniquement, est de 6 minutes. En cas d'avarie au mécanisme, toutes les manœuvres peuvent être effectuées à bras d'hommes, et dix hommes suffisent pour ouvrir ou fermer le pont en 20 minutes.

La partie Sud du viaduc est constituée par quatre tabliers de 165m 75 de longueur, comprenant chacun deux travées solidaires. La hauteur des poutres est de 9m 10. Ces tabliers ont été mis en place par lançage.

Le poids total du métal du viaduc est de 9 700 tonnes environ.

Cet ouvrage a été construit par la Compagnie des Chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée, sous la direction de M. Séjourné; les fondations et maçonneries ont été exécutées par MM. Fougerolle frères, et la partie métallique par M. Daydé et MM. Schneider et Cie.

Viaduc et pont tournant de Caronte : longueur totale 950 mètres, poids de la travée tournante, 1 450 tonnes.
The Caronte Viaduct and swing bridge : total length 950 meters, weight of the swinging structure, 1 450 tons.

The Caronte Viaduct and Swing Bridge.

This viaduct, which has been opened lately, is remarkable not only for its length but also for the swing bridge forming a part of the structure. It allows of the double line from Miramas to l'Estaque (Suburb of Marseilles) to cross the Etang de Caronte, an almost inland sea (see plan page 101), and comprises a steel viaduct of 950 meters length, comprising 10 fixed spans, two of 51m 20, eight of 82m 50 and a double equal ended swing bridge of 114 meters length. This swing bridge crosses a navigable passage of 43 meters which makes one with the canal from Marseilles to the Rhone and which also serves as an entry to the " Etang de Berre ". It was for the eventual use of this small, so as to say, inland sea of Berre, as a port for war ships, that the swing bridge was provided.

The sea bottom is of soft mud with a layer of clay underneath, and all the viaduct piers, except one, have been sunk by compressed air. The No 6 pier has been sunk 24m 58 below the sea and the total quantity excavated under air pressure is 33 000 cubic meters.

The north part of the viaduct comprises two metallic bays of which the joint length is 103 meters and height of the girders 5m 42. The two bays were launched into position.

The swing bridge is a remarkable structure, the principal girders of which have a height varying from 7m 60 to 43m 70. The bridge when closed rests on its pier by the intermediary of a pivot and two bearing contrivances provided with wedgings, and its ends bear on two circular shaped sector excentrics. When being rotated, the bridge, lifting simultaneously from the pier and the bearings at its ends, rests solely on the phosphor bronze pivot of 0m 83 diameter, which then bears the whole weight of 1 450 tons. It is the most important structure in the world turning on a pivot.

Taking into consideration the height of 23 meters from the level of the water to bottom of the girders the opening of this bridge will be very rarely required. It was therefore decided that, as regards the power required, two petrol engines of 100 horse power each, one being an emergency unit, would be sufficient to operate the mechanism for the work done in turning, locking and wedging.

The total time taken to complete the mechanical opening and closing is 6 minutes. Should the mechanism fail, all the work can be done by hand labour, ten men being sufficient for opening and closing the bridge in twenty minutes.

The south portion of the viaduct, comprises four superstructures of 165m 75 length, of two joint bays each. The height of the girders is 9m 10. These girders were launched into position after being assembled.

The total weight of the viaduct is about 9 700 tons.

The work was undertaken by the P. L. M. Railway Company, and superintended by Mr Séjourné, Chief Engineer of constructional work; the foundations and masonry were contracted for by Messrs Fougerolle Bros, and the metallic portion by Mr Daydé and Messrs Schneider and Company.

Pont suspendu de la Cassagne.

Ce pont a été construit en 1906 sur la ligne électrique de Villefranche-de-Conflent à Bourg-Madame, dans les Pyrénées-Orientales. Il est en rampe uniforme de 0m 06 par mètre et franchit la Têt à 80 mètres au-dessus du fond de la vallée. Il comporte une grande travée centrale suspendue de 156 mètres, deux travées latérales suspendues de 39 mètres, et une petite travée fixe en poutre droite de 19 mètres, de sorte que sa longueur totale est de 253 mètres.

Ce pont est établi d'après un système nouveau imaginé par le Commandant du Génie Gisclard et qui paraît appelé à se répandre. La caractéristique de ce système réside dans la forme donnée aux fermes de suspension, qui est telle que tous les éléments de la triangulation, en câbles de fils d'acier, restent constamment tendus sous toutes les distributions de la surcharge. Les tiges de suspension sont articulées à leurs deux extrémités.

Dans son ensemble, le tablier se présente comme une poutre en forme d'U renversé ⊓, en tôle, posée à plat, dont l'âme horizontale serait constituée par la tôle d'acier du platelage, les semelles par les deux poutres de rive latérales surmontées des garde-corps du pont, et les nervures transversales par les pièces de pont. Un croisillonnement inférieur, destiné à renforcer le contreventement du pont, permet aussi de regarder cet ensemble comme un caisson très aplati, présentant ainsi une certaine flexibilité dans le sens vertical, en même temps qu'une très grande rigidité dans le sens transversal pour résister à l'action du vent. Dans l'intérieur de ce caisson se trouvent les deux longerons sous rails supportant directement la voie.

Le tablier est invariablement fixé par son extrémité la plus basse sur les maçonneries de la culée. Il passe au-dessus des grandes piles intermédiaires sans s'y appuyer, mais se trouve soutenu cependant, au droit du milieu de ces piles, par des câbles verticaux de suspension qui viennent le rattacher à la partie supérieure des pylônes. Dans le sens horizontal il est buté contre les trois piles et la culée qui le supportent.

Les câbles de retenue pénètrent jusqu'au fond des galeries d'ancrage, creusées dans le rocher où ils prennent appui sur un appareil en maçonnerie de granit qui répartit la pression sur le rocher avoisinant. L'ensemble de ces ancrages est établi d'après une disposition nouvelle due à M. Nouailhac-Pioch, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Le montage du pont, construit par M. Arnodin, s'est fait sans ponts de service ni échafaudages, en se servant d'un câble transporteur aérien d'abord, puis des câbles principaux de la suspension Ordish.

Aux essais, la charge d'épreuve a été formée d'un train de six voitures automotrices pesant ensemble 192 tonnes: l'abaissement du tablier sous cette charge a été de 0m 148 (flèche calculée 0m 156).

La dépense totale s'est élevée à 1 125 762 fr. 85, ce qui, pour une superficie de vide franchi de 10 800 mètres carrés, correspond à un prix de revient de 104 francs par mètre carré, en élévation, de vide franchi.

The Cassagne Suspension Bridge.

This bridge was built in 1906 for the Electric Railway from Villefranche to Bourg-Madame in the Pyrénées-Orientales. It has a uniform gradient of 0m 06 per meter and spans the Têt at 80 meters above the bottom of the valley. It comprises a central suspended span of 156 meters, two side spans of 39 meters and a small straight fixed girder span of 19 meters, making a total length of 253 meters.

The bridge was built from designs of a new order, made by Commandant Gisclard, Military Engineer, and an extension of its use would appear likely. The characteristic of this system resides in the form of the suspension cables, which is such that all the members of the triangulation, in steel cables, remain in constant tension under all distributive conditions of overload. The suspension rods are free at each end.

The superstructure or platform is in the shape of an inverted U : ⊓, laid flat, of which the horizontal top steel plates form the platform, two girders carrying the railing of the bridge form the legs, and the cross members are formed by those of the bridge. A lower diagonal framing for strengthening the bracings of the bridge allows of considering this part of the structure as a very flattened caisson having a certain amount of vertical flexibility at the same time as a great transversal rigidity for resisting the wind pressure. The two longitudinal floor girders for carrying the rails are inside the caisson.

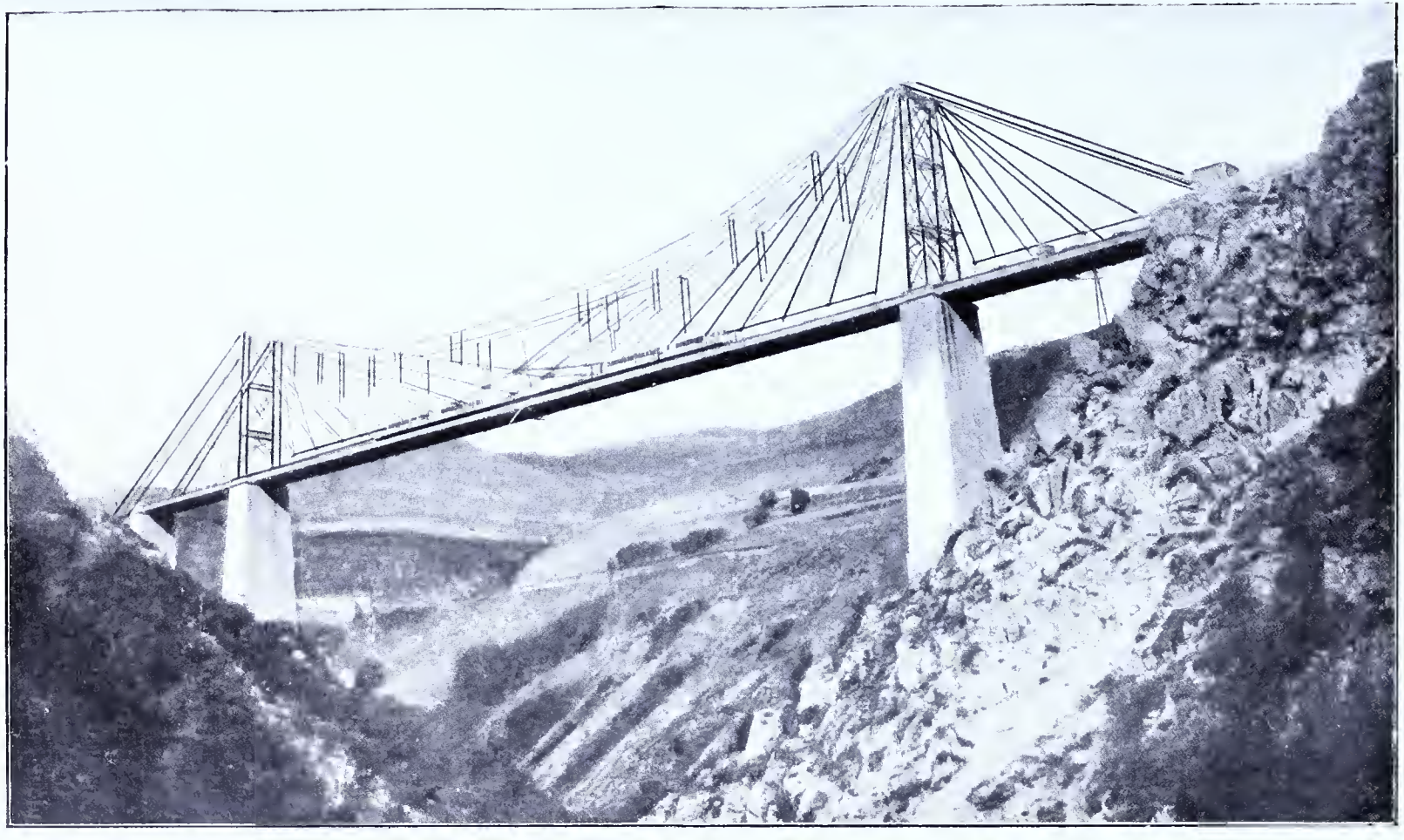
The floor or caisson is fixed by its lower ends on the masonry of the abutment and extends over the large middle piers without resting thereon but is supported right from the middle of the piers by vertical suspension cables upon which it hangs from the top of the steel towers on the piers. Its horizontal thrust is against the three piers and the abutment which support it.

The retaining cables go straight down to the anchorage galeries where they are held on a granit anchorage contrivance which distributes the pressure over the adjacent rock. The whole system of these anchorages is arranged in accordance with a new design by Mr F. Nouailhac-Pioch, Chief Engineer of Bridges and Roads (Ponts et Chaussées).

The erection of the bridge, built by Mr Arnodin, was carried out without scaffolding or temporary bridge, the work being done by a cable-way at first and after by the main cables of the Ordish suspension system.

At the trials, the test load consisted of a train of six automotor carriages, weighing together 192 tons. The depression of the platform under this load was 0m 148 (the estimated computation of deflection being 0m 156).

The total expenditure was 1 125 763 francs, which, for 10 800 square meters superficial area of space traversed, corresponded to a price of 104 francs per square meter of space spanned in the vertical plane.



Pont suspendu de la Cassagne : ouverture de la travée centrale, 156 mètres.
The La Cassagne suspension Bridge : clear opening of the central span, 156 meters.

Viaduc de Fontpédrouse.

Ce viaduc, établi pour le chemin de fer électrique de Villefranche-de-Conflent à Bourg-Madame (Pyrénées-Orientales), franchit la rivière de la Têt, à 65 mètres de hauteur. Il a 236m 70 de longueur et présente une déclivité de 0m 06 par mètre.

Il est à deux étages : le premier, composé d'une voûte en ogive de 30 mètres d'ouverture, a pour objet de supprimer la profonde coupure au fond de laquelle coule la Têt ; le second est un viaduc ordinaire dont l'une des piles repose sur le sommet de l'ogive. Toutefois, dans un but d'utilité autant que d'esthétique, deux piles-culées, en forme de tours crénelées de 6m 50 × 6m 10, sont établies sur les bords de la gorge de la Têt, et l'ouvrage se trouve ainsi divisé en trois parties distinctes : une partie centrale, comprenant quatre arches de 17 mètres d'ouverture, et deux parties latérales composées d'arches de 9 mètres d'ouverture, au nombre de deux sur la rive droite et de dix sur la rive gauche.

Une des caractéristiques de l'ouvrage est son peu de largeur. Celle-ci n'est, en effet, que de 2m 50 au niveau du rail, correspondant sensiblement à la longueur des traverses de la voie. Mais l'ouvrage est couronné par un tablier en béton armé, de 4m 50 de largeur totale, qui déborde de 1 mètre de chaque côté des tympans, pour supporter les trottoirs et les garde-corps.

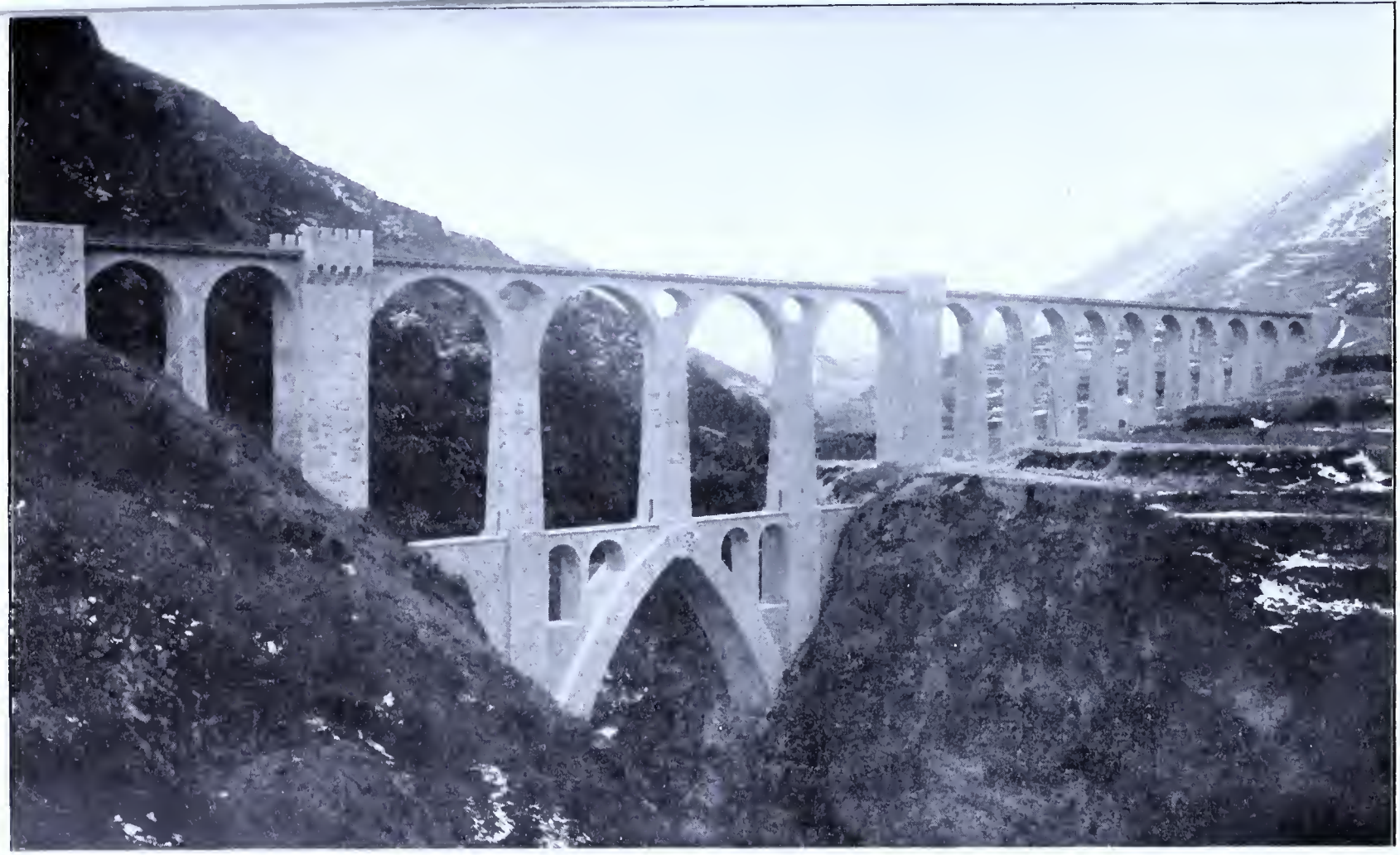
Ce tablier est constitué par des poutrelles transversales espacées de 1 mètre, par deux nervures en forme de T formant poutrelles de rive, et par deux hourdis établis entre ces poutrelles et les parements intérieurs des murs des tympans. Les hourdis présentent une pente transversale de 0m 025 vers l'axe de la voie, de façon à amener les eaux dans l'évidement existant entre les murs de tympans et à les évacuer par les gargouilles ménagées à cet effet dans les voûtes.

Le tablier est continu sur toute la longueur de l'ouvrage, y compris les tours et les culées, est solidement ancré dans ces dernières. En outre, un chaînage constitué par deux plats d'acier est établi au-dessous du tablier, dans chacun des murs de tympans, et solidarisé avec ceux-ci par des goujons. Comme le tablier, ce chaînage est continu et solidement ancré aussi dans les culées.

Par sa continuité et son intime liaison à la masse du viaduc, la dalle en béton armé constitue une véritable nervure renforçant l'ouvrage dans le sens horizontal et lui permettant, malgré sa grande hauteur et sa faible largeur, de résister efficacement aux vibrations transversales produites par le passage des trains.

La dépense totale de l'ouvrage s'est élevée à 570 000 francs et le prix de revient ressort ainsi à 93 francs par mètre carré, en élévation, de vide à franchir.

Cet ouvrage, d'un type nouveau, a été conçu par M. Séjourné, ingénieur en chef et professeur à l'École Nationale des Ponts et Chaussées.



Viaduc de Fontpédrouse. Fontpédrouse Viaduct.

The Fontpédrouse Viaduct

This Viaduct, built in connection with the electric Railway of Villefranche-de-Conflent at Bourg-Madame (Pyrénées-Orientales), spans the river Têt at a height of 65 meters. Its length is 236m 70 and it has a gradient of 0m 06 per meter.

It is a two storied structure: the first, comprising an ogive arch of 30 meters span, bridges over the deep ravine at the bottom of which the Têt flows; the second is an ordinary viaduct, one of the piers of which rests on the ogival arch. Two butress towers, 6m 50 × 6m 10, with battlements, are, however, erected on the edges of the gorge of the Têt, both for useful and aesthetic reasons, and the structure is thus divided into three distinct parts: a central bay comprising four arches of 17 meters span and two lateral approach viaducts, with arches of 9 meters span, of which two on the right shore and ten on the left.

One of the characteristics of the structure, is its small width, only 2m 50 at the rail level, which is about the length of the sleepers. But the structure carries an overhanging platform in reinforced concrete and having a total width of 4m 50, the overhang on each side of the tympans being 1 meter, and carrying the footways and railing.

The platform comprises the cross beams, 1 meter apart, two T shaped ribs forming two shore beams, and two fillings between the two beams and the inside facings of the tympan walls. The two fillings form a transversal batter of 0m 025 towards the centre of the track to drain the water into the hollow between the tympan walls to the discharges throughs the arches.

The platform is continued through the whole length of the structure comprising the towers and the butresses and is solidly anchored in theses latter mentioned. Added to this is a chain comprising two flat steel links which is arranged above the platform in each tympan wall and fixed into same with studs. Like the platform, this chain is continuous and is also solidly anchored to the abutments.

The reinforced concrete platform, on account of its continuity and its close connection with the mass of the viaduct, acts as a real brace, strengthening the structure horizontally and enables it, in spite of its great height and small width, to withstand the transversal vibration produced by the passage of the trains.

The total expenditure for the work amounted to 570 000 francs, and the price per square meter of space in elevation crossed by the span is 93 francs.

This structure, of a new order, was designed by Mr Séjourné, Chief Engineer and professor at the Ecole des Ponts et Chaussées.

Le Chemin de fer Métropolitain de Paris.

La première idée d'un chemin de fer destiné à desservir spécialement l'agglomération parisienne remonte à plus d'un demi-siècle, mais, par suite de diverses considérations, il y a vingt ans seulement que l'État a reconnu à la Ville le droit d'assurer l'exécution, à titre d'intérêt local, des lignes spécialement destinées à desservir les intérêts urbains. C'est la loi du 30 mars 1898 qui a déclaré d'utilité publique l'établissement d'un Métropolitain à traction électrique, destiné uniquement au transport des voyageurs, et comprenant six lignes concédées à titre ferme et deux autres lignes concédées à titre éventuel.

Commencés à la fin de 1898, les travaux de la première ligne, allant de la Porte de Vincennes à la Porte Maillot, et de ses deux annexes (de la Place de l'Étoile à la Porte Dauphine, et de la Place de l'Étoile au Trocadéro) étaient terminés en 1900. Cette ligne fut ouverte à l'exploitation le 19 juillet 1900 et rendit de grands services pendant l'Exposition universelle.

Un tel succès accueillit la mise en service des premières lignes, que la Ville de Paris se préoccupa immédiatement d'étendre la concession et obtint le vote de lois successives qui portèrent la longueur totale du réseau concédé à 157 kilomètres.

Actuellement, la longueur totale des lignes en exploitation est de 92 kilom. mesurés en double voie : celle des autres lignes concédées à titre ferme, construites, en construction ou en projet, s'élève à 48 kilom. ; enfin celle des lignes concédées à titre éventuel atteint 17 kilomètres.

Régime de la concession. — La concession du Métropolitain a été accordée à une Société anonyme ayant pour objet exclusif l'exploitation du Chemin de fer, et qui a pris le nom de Compagnie du Chemin de fer Métropolitain de Paris. Le capital de cette Compagnie, d'abord fixé à 25 millions de francs, s'élève actuellement à 75 millions de francs et elle a émis pour 125 millions d'obligations.

La convention de concession annexée à la loi du 30 mars 1898 stipule que la Ville de Paris exécutera elle-même les travaux de l'infrastructure, c'est-à-dire les travaux souterrains, tranchées, viaducs, nécessaires à l'établissement de la plate-forme ou au rétablissement des voies publiques empruntées. Toutes les autres dépenses sont à la charge du concessionnaire, notamment l'installation des voies et des transmissions électriques, l'aménagement des accès aux stations, la construction des ateliers et usines, la fourniture du matériel roulant, etc. En un mot, la Ville de Paris construit à ses frais les ouvrages souterrains ou aériens qui doivent contenir ou supporter les voies ; la Compagnie du Métropolitain pose ces voies, les équipe, assure l'accès aux stations, fournit le matériel et les usines électriques et exploite.

Cette combinaison présente des avantages indéniables : possibilité de réduire dans une proportion notable la durée de la concession ; allégement sensible des charges de l'entreprise par suite de la faculté que pos-

sède la Ville de Paris de se procurer des capitaux à un taux inférieur à celui qu'aurait à payer toute Société privée.

Pour faire face aux dépenses d'infrastructure, la Ville a été autorisée à contracter des emprunts spéciaux dont le total s'élève actuellement à 620 millions. Les charges de ces emprunts sont gagées par des prélèvements opérés sur les recettes de l'exploitation à raison de 0 fr. 10 par billet de 1re classe (à 0 fr. 25) et de 0 fr. 05 par billet de 2e classe (à 0 fr. 15) et par billet d'aller et retour (à 0 fr. 20). Ces prélèvements s'augmentent par des perceptions supplémentaires sur les billets délivrés au delà de 200 millions de francs par an. En 1913, le nombre de billets a été de 311 994 348, délivrés par 151 stations. La station Porte de Vincennes à elle seule a délivré 9 788 569 billets.

Les 312 millions (en nombre rond) de billets délivrés en 1913 ont produit 54 476 000 francs, somme sur laquelle il a été payé à la Ville de Paris une redevance de 17 500 000 francs, c'est-à-dire près du tiers de la recette. Sur cette recette totale, un peu moins de 8 millions, c'est-à-dire moins du septième, sont fournis par les billets de 1re classe.

Profils et ouvrages d'art. — Le Métropolitain de Paris est presque entièrement souterrain : la longueur des parties aériennes ne représente que 7.2 % du développement total des lignes concédées à titre ferme. Il est établi à deux voies sur ou sous les voies publiques. Une de ses caractéristiques est que les lignes souterraines se tiennent aussi près que possible de la surface du sol. Le tracé à la surface rend plus commode l'accès des stations, supprime les inconvénients et la dépense résultant de l'emploi systématique des ascenseurs : par contre, il a l'inconvénient d'entraîner le remaniement des canalisations souterraines. En définitive, il n'a été nécessaire de pourvoir d'ascenseurs que quelques stations seulement.

Le profil normal du souterrain du Métropolitain, en voie courante et dans les stations, est donné par les figures ci-jointes. Il subit de légères modifications, suivant la nature des terrains traversés. Lorsqu'on manque de hauteur entre le niveau du rail et celui de la chaussée, la voûte est remplacée par un tablier métallique.

La longueur des stations est de 72 mètres.

Dans les parties aériennes du tracé, les voies sont portées par un viaduc métallique à travées indépendantes.

Sur la première ligne métropolitaine (Porte de Vincennes-Porte Maillot), on avait prévu que la voûte du souterrain serait construite au bouclier : l'emploi de cet engin dans les couches disparates du sous-sol parisien n'a donné que de très médiocres résultats, et il a fallu l'abandonner. Actuellement, les lignes souterraines sont exécutées par la méthode des galeries boisées avec percement de la galerie d'avancement au faîte, sur l'axe, et exécution de la voûte par abatages.

Le Métropolitain traverse six fois la Seine : trois fois en souterrain, et trois fois en viaduc.

Deux procédés ont été employés pour la construction des souterrains. L'un est le procédé classique du bouclier appliqué à la traversée de la ligne n° 8, en aval du pont de la Concorde, à un souterrain à deux voies présentant une section circulaire de 7^{m} 776 de diamètre extérieur.

Le viaduc du Métropolitain, sur le grand bras de la Seine.

Métropolitain Viaduct, on the great arm of the Seine River.

L'autre, entièrement nouveau, consiste à construire le souterrain par tronçons successifs plus ou moins étendus, au-dessus de chambres de travail à l'air comprimé disposées à la manière ordinaire, et à enfoncer ces tronçons à la suite les uns des autres dans le lit du fleuve, jusqu'au niveau voulu. Lorsque les caissons ont été remis en place, on les relie entre eux pour établir la continuité du souterrain. Cette méthode, qui a été appliquée au passage de la ligne n° 4 sous la Seine, à la Cité, et à celui de la ligne n° 8, à l'aval du pont Mirabeau, permet de conserver au souterrain tubé une section intérieure très sensiblement voisine de celle du souterrain maçonné (voir page 49).

Le viaduc de Passy, sur lequel la ligne n° 2 franchit la Seine comporte deux étages : étage inférieur pour la circulation des voitures et des piétons, étage supérieur réservé au chemin de fer. L'ouvrage est divisé en deux bras par l'île des Cygnes, et sa longueur totale entre appuis sur chacune des rives est de 237m 16 (voir page 45).

Le viaduc d'Austerlitz sert uniquement au passage du Métropolitain. Il comporte, sur la Seine, une travée en arc à triple articulation qui, entre appuis, mesure 140 mètres d'ouverture et qui est d'un type semblable à celui du pont de la page 33. Sur la rive droite, ce pont est continué par un viaduc en courbe de 75 mètres de rayon, en pente régulière de 40 millimètres par mètre, composé de deux travées métalliques dont les dispositions sont entièrement nouvelles. Les poutres de rive ont reçu un développement courbe, parallèle à l'enveloppe du gabarit du matériel roulant. Les deux travées, dont la longueur totale dépasse 70 mètres, ont donc, grâce à la courbure de la pente, leurs poutres de rive établies suivant une surface hélicoïdale qui rappelle celle des limons d'escaliers en vis. C'est le premier exemple d'un pont de ce genre, et l'aspect en est particulièrement heureux.

La traversée de la Seine par la ligne n° 6 s'effectue sur un viaduc en maçonnerie superposé au pont de Bercy.

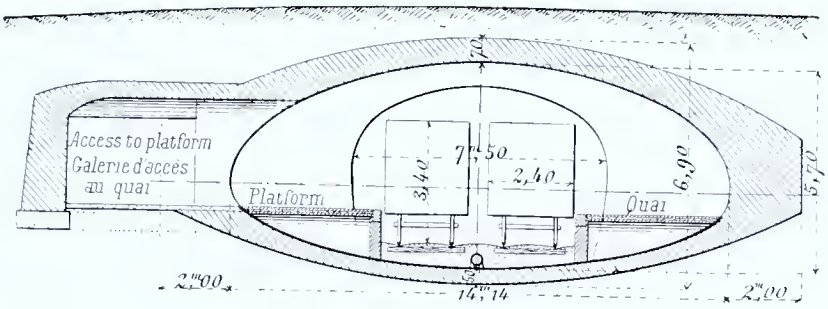
L'établissement des lignes métropolitaines, dans les conditions où il est réalisé à Paris, conduit à une dépense relativement modérée. Du relevé de ces dépenses pour les huit premières lignes du réseau, il résulte que le prix moyen de l'infrastructure ressort, par kilomètre, à 4 336 000 francs en nombre rond. Dans ce prix, les opérations de voirie pour élargissements partiels des rues et ouverture de voies nouvelles entrent pour 287 000 francs.

D'autre part, la superstructure et la fourniture du matériel roulant, qui incombent à la Compagnie du Métropolitain, coûtent environ 2 millions par kilomètre.

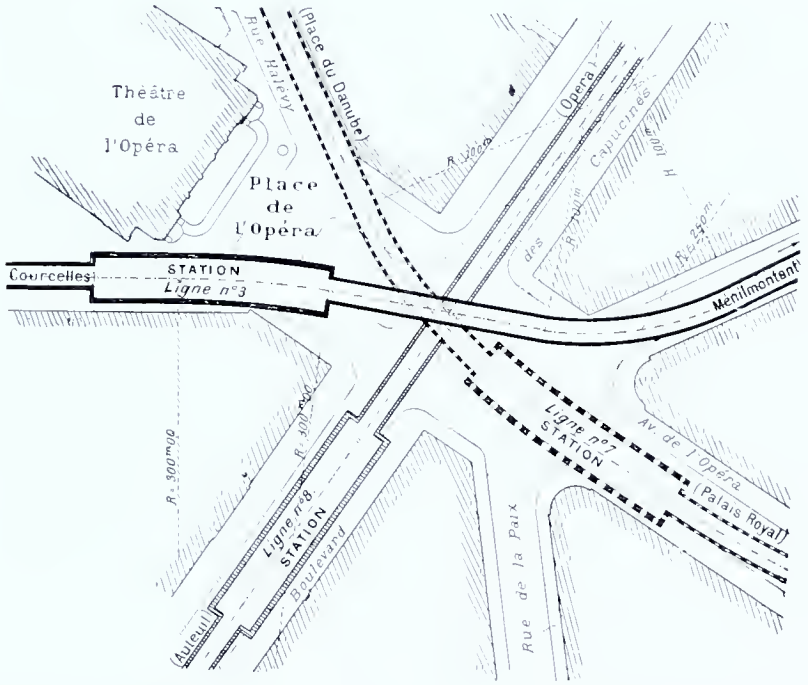
Tout compris, la construction et l'équipement d'une ligne métropolitaine entraînent donc en moyenne une dépense kilométrique de 6 336 000 francs en nombre rond.

Pour l'ensemble des 157 kilom. que comporte actuellement le réseau concédé, la dépense totale serait donc de 685 millions de francs, en nombre rond.

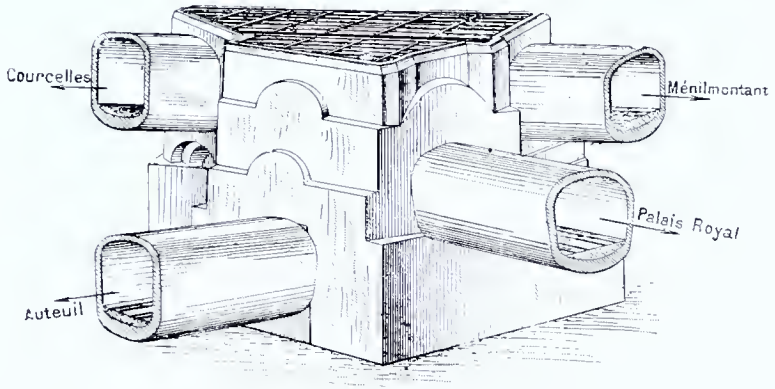
Installations électriques. — La traction des trains du Métropolitain est faite au moyen de courant continu à 550 volts, pris sur un conducteur



Profil-type d'une station du Métropolitain.
Cross section of a Metropolitan station.



Croisement de trois lignes métropolitaines superposées sous la place de l'Opéra.
Crossing of three Metropolitan lines one above the other, under Place de l'Opéra.



Maquette du massif comprenant les trois voies sous la place de l'Opéra.
Model of the crossing under Place de l'Opéra.

formé par un troisième rail. Ce courant est emprunté à plusieurs usines génératrices, dont l'une appartient à la Compagnie du Métropolitain. Le surplus du courant nécessaire est acheté à d'autres usines situées dans la banlieue de Paris et qui lui fournissent le courant à 5000 ou à 10000 volts. Ce courant est ramené à la tension de 550 volts dans une douzaine de sous-stations réparties sur le réseau et munies d'accumulateurs.

Toutes les lignes sont desservies par au moins deux stations différentes, de sorte que, en cas d'accident à l'une d'elles, le service puisse être assuré par la seconde. Plusieurs de ces sous-stations reçoivent d'ailleurs elles-mêmes le courant de deux usines génératrices.

Matériel roulant. — Le matériel roulant du Métropolitain comprend des voitures motrices et des voitures de remorque.

Les voitures motrices présentent la même construction générale que les remorques, sauf qu'un des bouts du véhicule est réservé au mécanicien, le restant de la caisse formant compartiment à voyageurs.

Les voitures, qui au début étaient toutes à deux essieux, sont maintenant en grande partie à bogies.

Tout en autorisant la voie normale sur le Métropolitain, pour permettre éventuellement aux trains de celui-ci de se répandre sur les voies des grands réseaux de chemins de fer, le Conseil municipal a imposé à son matériel un gabarit plus réduit que celui des grandes Compagnies.

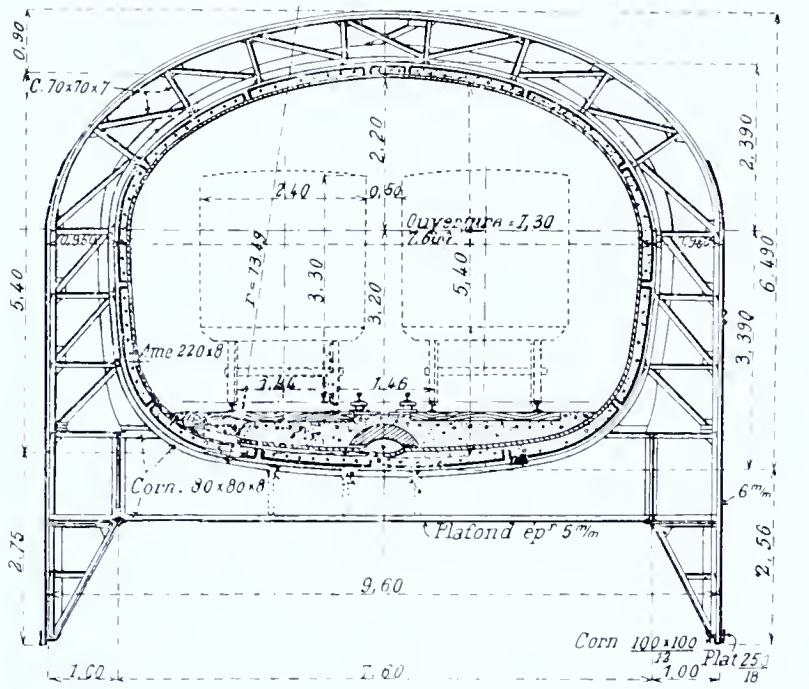
Ce gabarit réduit ne permet pas de donner aux voitures plus de $2^{m}40$ de largeur totale et cette faible largeur, outre qu'elle diminue notablement le nombre de voyageurs pouvant être transportés, pour une même longueur du train, n'est pas sans présenter quelques autres inconvénients.

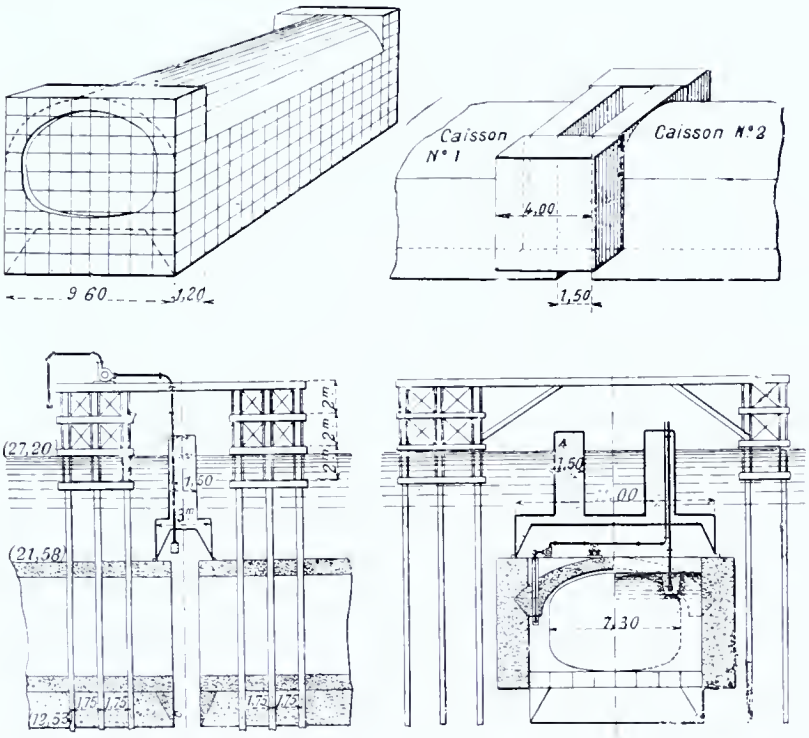
Chacune des voitures motrices du train prend son courant séparément sur le troisième rail, par deux frotteurs situés d'un même côté du véhicule, qui en possède quatre, réunis en parallèle, de façon à pouvoir être alimenté d'un côté ou de l'autre de la voie, suivant la situation du rail conducteur.

Les voitures motrices du type le plus récent ont une caisse entièrement métallique établie avec des tôles d'acier assemblées et rivées. Ces voitures ont 14 mètres de longueur totale, $9^{m}10$ d'écartement de bogies, $2^{m}25$ d'écartement de roues motrices et $1^{m}80$ d'écartement de roues porteuses. Elles sont munies de deux moteurs de 150 chevaux et pèsent $28^{t}500$, dont 6 tonnes de moteurs et engrenages. Elles comportent 26 places assises, deux plates-formes avec indication de 30 places debout, et un compartiment spécial de 20 places debout.

Ordinairement, les trains du Métropolitain comportent trois ou quatre remorques encadrées entre deux motrices à bogies, qui prennent le courant continu à 550 volts sur les rails de contact, par des frotteurs, et l'envoient à leurs quatre moteurs par l'intermédiaire d'un système de commande « à unités multiples ».

On ne peut citer ici tous les noms des personnalités qui ont contribué à la conception et à l'exécution du Métropolitain, mais il y a lieu de mentionner que les travaux en sont dirigés, depuis le début, par M. l'Inspecteur général Bienvenüe, assisté de M. Biette, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.





Disposition des caissons fondés à l'air comprimé
et employés pour la traversée de la Seine par la ligne métropolitaine n° 4.

Arrangement of the pneumatic caissons for the crossing of the Seine River
by the n° 4 Metropolitan Line.

The Metropolitan Railway
of the city of Paris.

More than half a century has elapsed since a Metropolitan Railway, confined entirely to the city of Paris, was first mooted, but owing to various reasons it is only some 20 years ago that the Government granted to the city the right to carry out a railway specially designed to meet local requirements. The law of March 30 1898 recognised that public interest would be served by the construction of a Metropolitan Railway, operated by electricity and for the conveyance of passengers only. This scheme inclused six definite lines with the eventual addition of two others.

The first line from the Porte de Vincennes to the Porte Maillot together with its two branches (from the Place de l'Étoile to the Porte Dauphine and the Trocadéro respectively) was begun towards the end of 1898 and finished in 1900. Opened on July 19 1900 it rendered signal service during the international Exhibition of that year.

The success of these first lines was such that the City Council at once took steps to extend their concessions and obtained the passing of three successive laws authorising them to construct 97 miles (157 kilometers) of double line railway.

At the present time 57 miles (92 kilometers) are open; another 30 miles (48 kilometers), part of which is already under construction in hand, and there are another 10 miles (17 kilometers) which, if circumstances allow, may eventually be carried out.

Details of the concession. — The concession for the Metropolitan Railway was given to a limited-liability Company — the Compagnie du Chemin de fer Métropolitain de Paris — whose functions were confined entirely to the running of the railway. The capital of this Company was originally fixed at 25 millions francs ($5 000 000; £ 1 000 000), but is now 75 millions of francs ($15 000 000; £ 3 000 000), to which must be added 125 millions ($25 000 000; £ 5 000 000) worth of bonds.

The contract covered by the law of March 30th 1898 stipulated that the City of Paris should undertake all work connected with the substructure, such as underground work, cuttings, viaducts, etc., necessary for the posing of the road-bed or for the carrying of the streets over the line. All other work was to be carried out by the Company and this included the construction of the road, the electric transmission, the access to the stations, all workshops and power-stations and the supply of the rolling stock. In short the City had to construct at its expense the under and above ground work for carrying or containing the road, while the Metropolitan Company was required to lay out and equip the same, insure access to the stations, supply all material and the electric stations, and run the whole railway.

This combination presents the following undeniable advantages : the possibility of very materially reducing the duration of the concession : and the very sensible lightening of the cost of the enterprise owing to the City being able to obtain capital at much more favorable rates than any private Company could possibly hope to do.

To meet the expenses of the substructure the City was authorised to contract special loans amounting at the present moment to 620 millions of francs ($ 124 000 000 : £ 24 800 000). The cost of these loans are met by previous deductions made on the receipts, and calculated as follows :

0 fr. 10 (2 cents : 1 penny) on a first class ticket of 0 fr. 25 (5 cents : 2 1/2 penny) ; 0 fr. 05 (1 cent : 1/2 penny) on a second class ticket of 0 fr. 15 (3 cents ; 3 halfpence) and on a return ticket of 0 fr. 20 (4 cents : 2 pence). In addition to these deductions there is a supplementary tax on all tickets issued in a year after the receipts from this source have attained 200 millions of francs ($ 40 000 000 : £ 8 000 000). In 1913, 311 994 348 tickets were issued by 151 stations, Porte de Vincennes station alone issuing 9 788 569.

The number issued in 1913 — 312 000 000 in round numbers — was to the value of 54 476 000 francs ($ 10 895 200 ; £ 2 179 040), out of which the percentage paid over to the city of Paris amounted to 17 540 000 francs ($ 3 508 000 : £ 701 600) or nearly one third of the receipts. The sale of first class tickets brought in under 8 millions of francs ($ 1 600 000 : £ 320 000) or less than one seventh of the above total receipts.

Description of the line. — The Paris Metropolitan is almost entirely underground, the open portions forming but 7.2 °/° of the fully authorised 87 miles (140 kilometers) of line. It is a double line throughout and runs either under or over the public streets. One of its marked characteristics is that the underground portions lie as close as possible to the surface of the streets. This facilitates the access to the stations and suppresses the inconvenience and the expense of a systematic use of lifts : on the other hand the sewers and the gas, water and electric mains have often to be removed and rearranged. As a matter of fact lifts are provided at a few station only.

The normal structure gauge of the tunnels and stations is given in the accompanying figures. It is slightly modified according to the nature of the soil. Where the distance between the surface of the rails and that of the ground does not admit of an arch, metal girders are used to carry the street.

Each station is 236 ft. (72 meters) leng.

Where the line runs above ground it is carried on girders, each span of which is independent of the next.

On the first line (Porte de Vincennes to Porte Maillot) it was arranged that the arch of the tunnel should be constructed by means of a shield, but owing to the very diverse strata of the Parisian subsoil, the results were poor and the shield was abandoned. At the present time the tunnels are excavated by means of timbered headings, with an advanced one in the axis and at the top of the tunnel which is gradually widened out to the full section.

The Seine is crossed six times: three times in tunnel and three by a bridge.

Two methods were employed in the construction of these tunnels. One was the classic method with a shield, and was carried out where line n° 8 crosses the river just below the Concorde bridge in a circular tunnel, having an exterior diameter of 25 ft. 6 ins (7m 776) and carring two lines of rail. The second method, entirely new, was to construct sections of tube of various lengths and to sink them in the bed of the river by means of compressed air chambers of normal construction. Once in place at the right level, the sections were connected up to form a continuous tube. This procedure was employed where line n° 4 crosses the Seine at the City, and line n° 8 crosses below the Mirabeau bridge, and it enabled the tube to have a section very similar to that of the underground portion in masonry (see page 49).

The Passy viaduct, by means of which line n° 2 crosses the river, is built in two storeys: the lower one carrying a carriage-road and the upper on the railway itself. It is divided in two by the island des Cygnes, its total length between the two shore abutments being 778 ft. (237m 16).

The Austerlitz bridge is for the railway alone, and consists of a metallic arch with three flexible joints and having a clear span of 459 ft. (140 meters). It is similar to that shewn on page 33. The approach on the right bank is on a curve with a radius of 246 ft. (75 meters) and a gradient of 1 in 25 (40 m/m per meter) and is composed of two spans of girders built in a very novel way. The side girders are curved parallel to the development of the loading gauge of the rolling stock. The two spans, having a total length of over 230 ft. (70 meters) are, owing to the curve and the gradient, of spiral form, and remind one of a circular staircase. This is the first example of such a bridge and it presents a particularly pleasing appearance.

Line n° 6 crosses the Seine by a masonry viaduct superimposed on the pre-existing Bercy bridge.

Under the conditions realised in Paris the cost of building the Metropolitan lines was naturally relatively moderate. Based on the figures of the first eight lines the average cost of the substructure comes out in round numbers at 4 336 000 francs per kilometer of double line, say $ 1 387 500 or £ 277 500 per mile. In these figures the cost of widening existing streets and creating new ones amounts to 287 000 francs, say $ 91 800 or £ 18 300.

On the other hand the superstructure and the rolling stock cost the Metropolitan Company, about 2000000 francs per kilometer, say $ 640000 or £ 120000 per mile.

Altogether therefore the average cost of the construction and equipment of the Paris Metropolitan Railway comes out in round numbers at 6 336 000 francs per kilometer, say $ 2 027 500 or £ 405 500 per mile.

The whole concession of 97 miles (157 kilometers) should therefore cost approximately 685 million of francs ($ 137 000 000; £ 27 400 000).

Electric equipement. — The trains are propelled by a D. C. at 550 volts, supplied through a third rail. This current is furnished by several power-

stations, one of which belongs to the Metropolitan Company. The foreign power-stations, from which current is bought, are situated in the suburbs and supply the same at 5000 and 10000 volts. A dozen sub-stations fitted with accumulators and situated at various points of the lines reduce this tension to 550 volts.

Each line is supplied by at least two different sub-stations, so that in case of accident to one of them, the other can keep the trains running. Several of these sub-stations receive current from two power-stations.

Rolling stock. — The rolling stock of the Metropolitan Railway comprises motor-carriages and trailers.

The motor-carriages are of the same type of construction as the trailers, except that one of the ends is reserved for the driver, the remainder of the body carrying passengers.

In the early days the carriages were four-wheeled, but now the major portion is fitted with bogies.

While the City Council authorised the standard gauge for the permanent way, with the view of eventually facilitating the running of the stock on to the suburban lines, yet they introduced a reduced loading-gauge, so that the width of the coaches does not exceed 7 ft. 10 1/2 ins (2^{m} 40). Hereby not only is the carrying capacity of the train notably diminished, but other inconveniences have been entailed.

Each motor-carriage is fitted with four shoes for taking current from the third rail: two are on each side and they are all joined up in parallel, so that current can be obtained through any one or two of the shoes, according as the third rail is on the right or left of the train.

The motor-carriages of the latest type have metallic bodies of sheet steel fitted and riveted together. They are 46 ft. (14 meters) length over all, with 29 ft. 10 ins (9^{m} 10) from centre to centre of the bogies, 7 ft. 4 1/2 ins (2^{m} 25) between the motor wheels, and 5 ft. 8 1/2 ins (1^{m} 80), between the running wheels. They are equipped with two 150 HP. motors and weigh 62 700 lbs or 31 short tons 8 cwt (28t 500), including 13 227 lbs or 6 short tons 12 cwt (6 tons) for the motors and gearing. Each motor-carriage has a capacity of 76 passengers, 26 seated, 30 standing in two of the entrance aisles, and 20 more standing in a special compartment.

As a rule the Metropolitan trains are made up of three or four trailers between two bogie motor-carriages, which take the D. C. at 550 volts from the third rail by means of shoes and supply their four motors through a « multiple unit » system of control.

Lack of space forbids our giving the names of all, wo have so largely contributed to the success of the railway, but we may mention that the works, right from the start, were carried out under the management of Inspector General Bienvenüe, assisted by Mr Biette, Chief Engineer of the Ponts et Chaussées.

Le chemin de fer Nord-Sud de Paris.

Dès l'origine du chemin de fer Métropolitain proprement dit, un ingénieur connu, M. Berlier, avait demandé au Conseil municipal de la ville de Paris la concession d'une ligne souterraine destinée à relier directement les quartiers de Montmartre et de Montparnasse. Cette concession lui fut accordée en 1901 avec charge de donner à cette ligne des extensions importantes à ses deux extrémités, et c'est ainsi que fut créée la « Compagnie du chemin de fer électrique souterrain Nord-Sud de Paris ».

Ce réseau, dont la longueur actuellement en service est de 15 kilomètres et celle en construction de 5 kilomètres, a un régime très différent de celui du Métropolitain proprement dit. Tandis que dans ce dernier la Compagnie qui l'exploite reçoit de la Ville les lignes déjà construites et est simplement chargée de l'infrastructure et de l'exploitation, la Compagnie du Nord-Sud se trouve dans la situation ordinaire des Compagnies de chemins de fer, c'est-à-dire qu'elle prend à sa charge tous les frais de construction et d'exploitation.

Les gabarits des ouvrages et le matériel d'exploitation sont d'ailleurs très peu différents dans les deux cas et les voyageurs peuvent, aux points de croisement des lignes, passer d'une Compagnie à l'autre sans avoir à prendre un nouveau billet ni à payer un supplément de prix.

La traction électrique sur le Nord-Sud s'effectue avec une double prise de courant : sur un troisième rail, et en même temps sur un fil aérien fixé au plafond du souterrain, ce qui donne une grande sécurité.

Quant aux particularités d'exécution qu'ont présentées les lignes du Nord-Sud, il faut citer la traversée de la Seine, un peu en amont du pont de la Concorde, par deux tubes souterrains (un pour chaque voie) et la traversée de la butte Montmartre à grande profondeur et où la présence d'anciennes carrières a créé de grosses difficultés.

Parmi les stations du Nord-Sud, il y a lieu de signaler particulièrement celle dite « Gare Saint-Lazare », à côté du terminus des Chemins de fer de l'État, qui est munie d'une salle circulaire souterraine pour la distribution des billets (voir page 55) et qui sert en même temps de passage public permettant aux piétons d'éviter la traversée du carrefour très fréquenté sous lequel elle se trouve.

Le courant de traction est du continu à 600 volts provenant de sous-stations qui sont elles-mêmes alimentées par du courant triphasé à 10000 ou 13000 volts fourni par des usines privées situées dans la banlieue de Paris. Chaque train comportant deux voitures motrices, l'une d'elles prend son courant sur le fil aérien et l'autre sur le rail latéral, de telle sorte que l'intensité du courant ramené aux sous-stations par les rails de roulement est pratiquement nulle : tout danger d'électrolyse est ainsi écarté.

Les travaux du Nord-Sud sont exécutés sous la direction de M. Bechmann, ancien Ingénieur de la Ville de Paris.

Vue de la salle de distribution des billets de la station « Gare St-Lazare », du Nord-Sud. Booking hall of the "Gare St-Lazare" station. Nord-Sud Railway.

The Parisian underground railway

" Nord=Sud ".

In the early days of the Metropolitan Railway a well known engineer, Mr Berlier, had asked the City Council for the concession for an underground line linking Montmartre with Montparnasse. This concession was granted in 1901 and includ important extensions at both extremities. Such was the origin of the " Compagnie du Chemin de fer électrique souterrain Nord-Sud de Paris " (Parisian Electric Underground Railway, Nord-Sud.)

Some 9.5 miles (15 kilometers) are already in service, while 3 miles (5 kilometers) are still under construction.

While the Metropolitan Railway received from the City of Paris its tunnels and bridges all complete and had simply to add the superstructure, furnish the rolling-stock and undertake the actual running of the trains, the Nord-Sud was treated like any ordinary railway company and had to undertake the whole of its constructive work.

The limit and loading gauges of the Nord-Sud differ very slightly from those obtaining on the Metropolitan Railway. Where the lines of the two companies cross, passengers can change from one company's lines to those of the other without paying any additional charge.

On the Nord-Sud the current is brought to the motors through two channels, viz : through a third rail and also at the same time through an aerial line suspended from the roof of the tunnel, thus affording great security.

The traction current is D. C. at 600 volts supplied from sub-stations which receive a three-phase current at from 10 000 to 13 000 volts from generating stations situated in the suburbs. Each train includes two motor-carriages, one taking the current from the overhead conductor and the other from the third rail, so that the return current passing through the running rails to the sub-stations is practically nil. By these means all danger of electrolysis has been eliminated.

As regards special peculiarities in the construction of the Nord-Sud, the following may be noted : the crossing of the Seine just above the Concorde bridge in two tubes (one for each line) and the piercing of the Montmartre hill at a great depth, where the presence of old quarries also created serious difficulties.

Among the stations attention may be called to that of " Saint-Lazare " situated close the station of the State Railways bearing the same name. This possesses an underground circular booking-hall (see page 55) which serves at the same time as a public passage for pedestrians desirous of avoiding the risks of the busy street-crossing above.

The Nord-Sud is being constructed under the management of Mr Bechmann, at one time engineer to the City of Paris.

Les chemins de fer du massif du Mont-Blanc.

Grâce à l'extension considérable du tourisme, depuis une vingtaine d'années, les chemins de fer de haute montagne constituent maintenant des entreprises fort intéressantes. Or, il est difficile de rencontrer un centre de montagnes plus attrayant, et en même temps plus favorable à l'établissement de ces voies, que l'admirable ensemble formé par les massifs qui entourent le centre d'excursion bien connu Chamonix, au pied du Mont-Blanc.

Depuis 1901, Chamonix est relié au réseau des chemins de fer français par Le Fayet-Saint-Gervais, et, en 1908, a eu lieu la mise en service du prolongement de cette ligne, qui est venu se souder, par Argentière à la ligne suisse du Châtelard à Martigny (voir la carte de la page 19), créant un accès direct à la grande ligne internationale du Simplon. Aussi le nombre des touristes parcourant la vallée de l'Arve s'est-il, en ces dernières années, accru dans des proportions considérables.

Pour en donner une idée, il suffit d'indiquer que le nombre des voyageurs à la gare de Chamonix qui, en 1901, n'était que 52 000, s'est élevé à plus de 350 000 en 1913.

Ce développement ininterrompu du mouvement des voyageurs n'a pas tardé à provoquer l'étude d'une série de voies ferrées destinées à donner un accès facile et rapide aux points les plus intéressants du massif du Mont-Blanc. Parmi ces projets, trois sont déjà en exploitation ou en cours de construction.

Le chemin de fer à crémaillère du Montenvers (de Chamonix à la Mer de Glace).

Cette ligne, en service depuis 1909, relie la gare de Chamonix au Montenvers, sur la rive gauche de la Mer de Glace, et permet d'effectuer en une demi-journée l'excursion complète qui, à pied, nécessite presque une journée entière.

La ligne a son point de départ en arrière de la gare de Chamonix et son développement atteint $5^{km}141$: la hauteur d'ascension est de 871 mètres (altitudes : au départ, 1042 mètres : à l'arrivée, 1913 mètres). La déclivité maximum atteint $0^{m}219$ par mètre, et le rayon minimum des courbes est de 80 mètres. La voie, de 1 mètre d'écartement, est assise sur une plate-forme de $4^{m}20$ de largeur.

La crémaillère, du type Abt, est formée de tronçons de 4 mètres de longueur, pesant 33 kilogrammes.

Les locomotives ont trois essieux porteurs avec roues de $0^{m}52$, les deux essieux d'arrière formant bogie. Elles sont munies de deux roues dentées de $0^{m}86$ de diamètre et de quatre freins, dont deux agissant sur les roues dentées.

Les voitures à voyageurs sont montées sur deux bogies, dont l'un porte

une roue dentée qui engrène sur la crémaillère, et un frein manœuvré de la voiture permet de bloquer cette roue dentée. Les voitures sont toujours refoulées ou retenues par la locomotive. Elles peuvent recevoir soixante voyageurs.

Chemin de fer à crémaillère du Fayet-Saint-Gervais à l'Aiguille du Goûter.

Le but de cette ligne est de faciliter l'ascension au sommet du Mont-Blanc (altitude de 4810 mètres) et de desservir diverses stations intermédiaires, notamment le village de Saint-Gervais-les-Bains, situé à plus de 200 mètres au-dessus de la gare du Fayet-Saint-Gervais.

Elle est à voie de 1 mètre et ne comporte pas de déclivités supérieures à 0m240 par mètre.

La ligne, dont le développement total atteindra 18km500, est ouverte depuis 1912 à l'exploitation jusqu'au Mont-Lachat, à l'altitude de 2074 mètres, soit sur 10km900. Elle conduit depuis 1913 jusqu'à la gare des Rognes, à l'altitude de 2702 mètres, qui donne accès au glacier de Bionnassay, et l'on espère que la voie sera entièrement terminée jusqu'à l'Aiguille du Goûter, c'est-à-dire jusqu'à la cote 3796 mètres, en 1916.

Le funiculaire aérien de l'Aiguille du Midi.

Le but de ce funiculaire est de donner un accès facile à l'un des belvéderes les plus fameux situés au centre du massif du Mont-Blanc, l'Aiguille du Midi (altitude 3843 mètres). Pour le moment, le terminus de la ligne actuellement en construction se trouve au Col du Midi (3559 mètres).

Il n'était pas possible de songer à desservir l'Aiguille du Midi au moyen d'un chemin de fer à crémaillère, et un funiculaire, autorisant de très fortes déclivités, pouvait seul résoudre le problème.

Dans le système adopté, le chariot de suspension de la voiture repose sur le câble porteur unique par l'intermédiaire de quatre galets de roulement ; le câble tracteur est fixé sur le chariot roulant, et un troisième câble, dit câble-frein, se trouve entre le câble porteur et le câble tracteur.

Le point de départ de la ligne est au Hameau des Pèlerins, à l'altitude 1035 mètres, dans la vallée de l'Arve, à 2 kilom. en aval de Chamonix. Le point terminus se trouvera au Col du Midi, soit une hauteur d'ascension de 2524 mètres. La ligne, qui mesure 5400 mètres en projection horizontale, comprendra quatre stations, dont on voit les emplacements sur la photographie de la page 61.

La ligne doit suivre le relief de la montagne, ce qui a conduit à prévoir un grand nombre de pylônes intermédiaires.

La vitesse linéaire du câble tracteur a été fixée à 2m50 par seconde, ce qui correspond à une vitesse d'élévation assez rapide. Sur chaque section, les voitures ne pourront cependant effectuer que trois à quatre voyages par heure, eu égard au temps nécessaire à l'entrée et à la sortie des voyageurs. La contenance des voitures étant de 20 personnes, le débit de la ligne sera de 75 voyageurs environ par heure.

La ligne ira jusqu'à la station du Glacier des Bossons en 1915.

Station du chemin de fer du Montenvers (Mer de Glace).

Montenver Railway station (Mer de Glace).

The Mont-Blanc Mountain Railways.

Owing to the considerable extension of touring for the last twenty years, high mountain railways now offer a large scope for enterprise in that direction. It is difficult to meet with a mountain centre more attractive, and, at the same time, more favourable to the laying down of these railways than the admirable ensemble formed by the high ranges which surround the excursion centre, Chamonix, at the foot of Mont-Blanc.

Chamonix has been connected up to the French railway lines by Le Fayet-Saint-Gervais, since 1902, and in 1908, the extension of the line was opened for public service and was joined on, through Argentière, to the Swiss line of Chatelard at Martigny (see map, page 19), creating thus a direct route to the international main line of the Simplon. The number of tourists which have therefore visited the valley of Arve has increased in remarkable proportions.

To give an idea of this, it will suffice to mention that the number of travellers at the Chamonix Station, which, in 1901, was only 52 000, increased to 350 000 in 1913.

This uninterrupted development of travel has hastened the studying o a series of lines destined to facilitate easy and rapid access to the most interesting parts of Mont-Blanc. Amongst these projects, three have already been carried out and the lines working, or are now building.

The Montenvers Rack Railway (from Chamonix to the Mer de Glace).

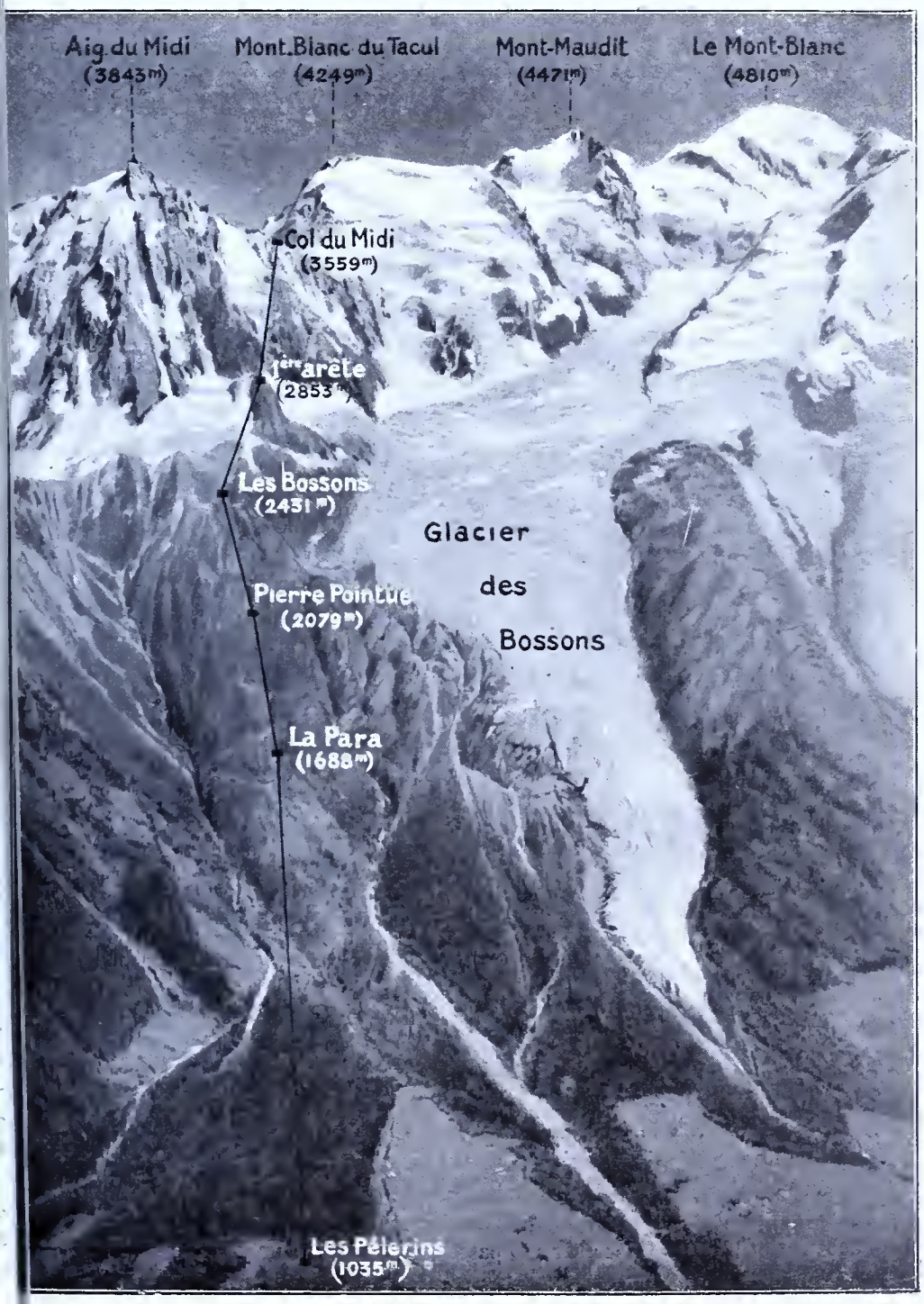
This line, running since 1900, connects the Chamonix station to Montenvers on the left side of the Mer de Glace, and allows of making the journey in a half hour, which, on foot, would take a whole day.

This line starts at the back of the Chamonix station and its length is 5 141 meters, the height climbed is 871 meters (altitudes at lowest and highest stations 1 042 meters and 1 913 meters respectively). The maximum gradient is 0^{m} 219 per meter and the minimum radius of curves 80 meters. The distance between rails is 1 meter and the track is laid on a floor 4^{m} 20 wide.

The rack, of the Abt type, is in 4 meter lengths, and weighs 33 kilogs.

The locomotives are of the three axle pattern, with wheels of 0^{m} 52, the two back axles for the bogie. They are provided with two pinions of 0^{m} 86 diameter and four brakes, two of which act on the pinions.

The carriages are mounted on two bogies, one of which carries a pinion which engages in the rack, and a brake, which is operated from the carriage, allows of acting on the pinion. The carriages are always driven or hauled by the locomotive, and can hold sixty passengers.



Chemin de fer funiculaire de l'Aiguille du Midi. Aiguille du Midi Ropeway.

The Rack Railway from Fayet-Saint-Gervais to l'Aiguille du Goûter.

The object of this line is to facilitate the journey to the summit of Mont-Blanc (altitude 4 810 meters), and to the different stations through which it passes, especially that of Saint-Gervais-les-Bains, situated at more than 200 meters above the station of Fayet-Saint-Gervais.

The track is of 1 meter gauge and has no gradients of more than $0^m 240$ per meter.

The line, of which the total length is 18 500 meters, has been opened since 1912, as far as Mont-Lachat, altitude 2 074 meters, or for 10 900 meters. It has been running since 1913, as far as Rognes station, at an altitude of 2 702 meters which allows of reaching the glacier of Bionnassey, and it is hoped that the railway will be entirely finished in 1916 as far as the Aiguille du Goûter, that is, at a level of 3 769 meters.

The Aerial Cable Railway of l'Aiguille du Midi.

The object of this railway is to allow of reaching one of the most famous terraces in the centre of the Mont-Blanc heights, l'Aiguille du Midi (altitude 3 843 meters). At present, the terminus of this line, now being constructed, is on the Col du Midi (3 559 meters).

It was not possible to think of dealing with the Aiguille du Midi ascension by means of a rack line, and a cable way allowing of steep gradients was the only means of overcoming the difficulty.

In the system adopted, the carriage suspension is supported on the main cable by four running wheels. The travelling cable is fixed to the suspension traveller and a third rope, called a brake-cable, is situated between the main or carrying cable and the travelling cable.

The line starts at the Hameau des Pelerins, at 1 035 meters altitude, in the valley of the Arve, at 2 kilometers below Chamonix. The terminus will be at the Col du Midi, that is, at a height of 2 524 meters above its starting point. The line, which measures, in horizontal projection, 5 100 meters, will comprise four stations, of which the future sites are marked on the photograph of page 61.

The line is to follow the contour of the mountain, which makes it necessary to provide for a large number of towers.

The linear speed of the travelling cable has been fixed at $2^m 50$ per second, which corresponds to a fair speed of ascension. On each side of the line the carriages can only make three or four journeys per hour on account of the time necessary to passengers entering and leaving.

The carriages holding 20 persons, the line will be able to deal with 75 passengers per hour.

In 1915 the line will go as far as the Glacier des Bossons station.

Routes et chemins vicinaux.

Automobiles.

La guerre de 1870-1871 avait naturellement laissé les routes de France dans un état lamentable, et pendant les années qui suivirent il y eut fort à faire pour reconstituer les chaussées défoncées par le passage des armées. Des sommes considérables y furent consacrées et, en 1878, le programme élaboré par M. de Freycinet attribua aux routes nationales, soit pour des voies nouvelles, soit pour des améliorations importantes des anciennes, une prévision de 150 millions de francs.

Ce programme n'a été réalisé que progressivement, avec les modifications imposées par les circonstances nouvelles, de telle sorte que de 1871 à 1901 l'État a consacré 132 millions de francs aux grosses réparations ou aux travaux neufs des routes nationales, et plus de 780 millions à leur entretien. Actuellement, la longueur totale des routes nationales est de près de 40 000 kilomètres.

Cette longueur est de peu de chose en regard de celle des routes départementales et des chemins vicinaux en état régulier d'entretien, qui atteint 550 000 kilom. et dont l'accroissement sous la troisième République a été d'environ 45 %. Cette énorme progression est due aux importants subsides alloués par l'État aux communes pour leur permettre d'améliorer leurs voies de communication. De 1869 à 1905, les dépenses faites sur ces chemins se sont élevées à 1 750 millions de francs, dont 450 millions fournis par l'État. Leurs frais annuels d'entretien s'élèvent à 160 millions.

Au total, l'ensemble des routes et chemins vicinaux en bon état représente un réseau de 600 000 kilom., dont l'administration et l'entretien absorbent de 250 à 300 millions par an. Ces frais augmentent sans cesse par suite du développement des automobiles, qui exigent des chaussées excellentes. Le graphique ci-contre montre la rapidité avec laquelle le nombre de ces voitures a augmenté, passant de 1 672 en 1899 à 53 659 en 1910, pendant que, dans la même période, leur puissance passait de 8 000 à 697 327 chevaux-vapeur.

Depuis cette époque, le nombre des automobiles en France a continué à croître et il atteignait 76 144 en 1912, avec une puissance de plus de 1 million de chevaux vapeur.

Pendant la même période, de 1901 à 1912, le nombre de voitures à chevaux a passé de 1 587 877 à 1 725 123, et il est curieux de remarquer que le produit de l'impôt a été, en 1912, presque identique pour chaque nature de véhicules soit : 7 737 770 francs pour les automobiles, et 7 371 142 francs pour les voitures à chevaux.

Au point de vue de l'accroissement des automobiles pendant les dernières années, la France s'est laissé distancer par d'autres pays. Cependant il est incontestable que c'est en France que l'industrie automobile a pris naissance, et non seulement ce pays a vu la première

voiture à vapeur, mise en marche par Cugnot en 1769, mais ses constructeurs, les Bollée, les Serpollet, les Peugeot, les Panhard et Levassor, etc., comptent parmi les créateurs les plus actifs et les plus ingénieux de l'industrie nouvelle. Aussi, pendant les premières années du siècle, c'est la France qui a été la plus grande productrice d'automobiles. En 1904, tandis que les exportations d'automobiles françaises dépassaient 71 millions de francs, les importations n'atteignaient pas 4 millions.

C'est en France qu'ont eu lieu les premières courses d'automobiles qui ont tant fait pour le développement et la mise au point de ces véhicules : Paris-Bordeaux en 1894 et en 1895, Paris-Marseille en 1896, etc. Non seulement ces courses ont grandement contribué au perfectionnement des véhicules et de leurs moteurs, mais elles ont attiré l'attention sur la nécessité de trouver le moyen de lutter contre la poussière que soulèvent ces voitures et de mettre les chaussées en état de résister au nouveau mode de locomotion. On a d'abord employé à cet effet divers procédés : goudronnage, pétrolage, westrumitage, etc., et bientôt on reconnut l'utilité qu'il y aurait à ce que les ingénieurs chargés de la construction et de l'entretien des routes pussent étudier ensemble la question. C'est dans ce but que, sur l'initiative du ministre des Travaux publics, a eu lieu à Paris, en 1908, le premier Congrès international de la route.

D'autre part, l'Office national du Tourisme, créé, en 1910, dans le but de prendre toutes mesures propres à faciliter les conditions de transport, de circulation et de séjour des touristes, est appelé à exercer une grande influence sur l'amélioration des routes et l'organisation des services publics d'automobiles.

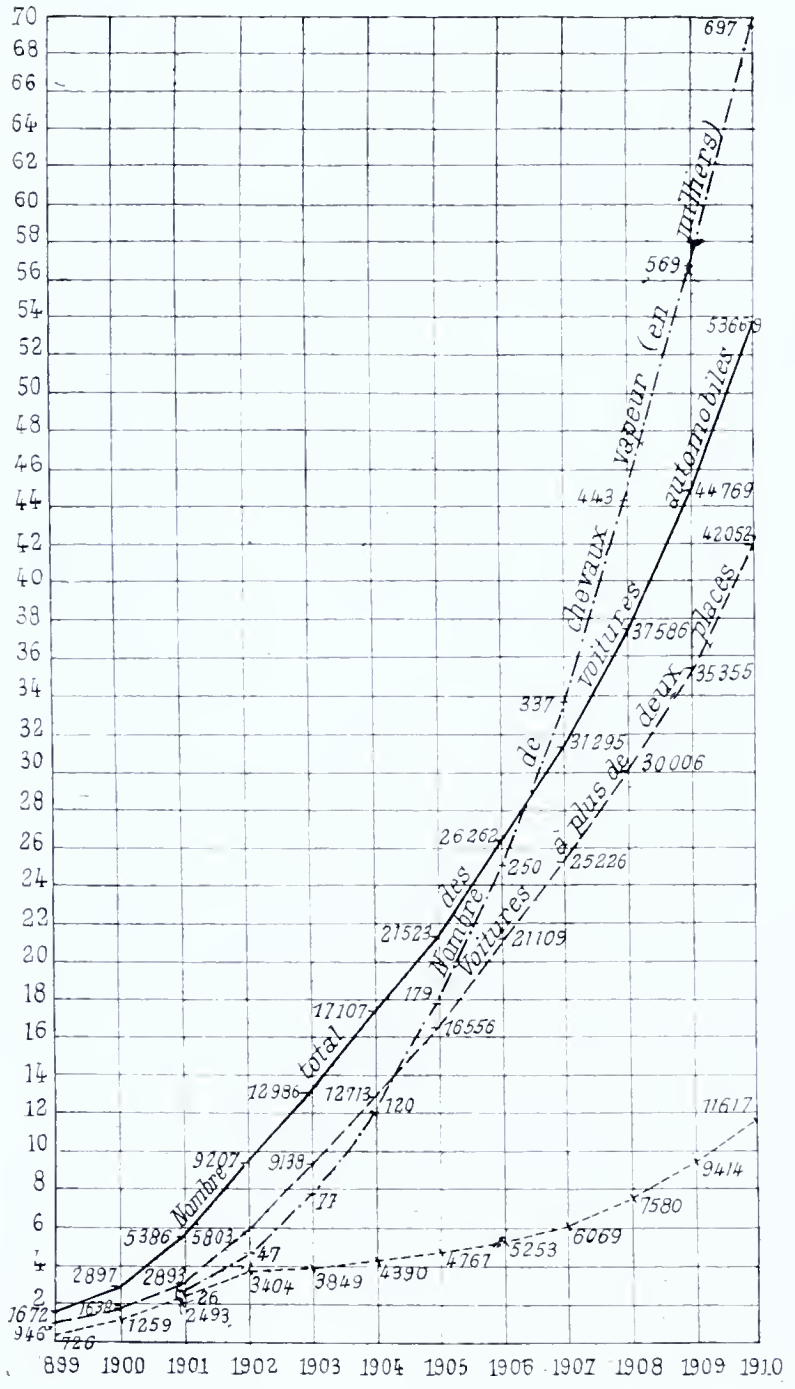
Highways and Roads.

Automobiles.

The war in 1870-1871, naturally left the roads of France in a lamentable state, and for years after much had to be done to restore the roadways broken up by the passing of the armies over them. Considerable sums of money were spent and in 1878, the programme prepared by Mr de Freycinet provided for a sum of 150 million francs to be spent in greatly improving the public higways and for making new roads.

This programme was only carried out progressively with the modifications brought about by new conditions and circumstances so that from 1871 to 1901, the state expended 132 million francs on big repairs or new road work, and more than 780 millions for their upkeep. At the present time, the total length of national highways is nearly 40 000 kilometers.

This length is very small compared to that of the higways through each county and the country roads in a regular state of repairs, which agregates 550 000 kilometers and of which the increase under the third Republic has been about 45 %. This enormous increase is due to important subsidies allowed by the State to different communes in order to



Graphique montrant l'accroissement du nombre et de la puissance en chevaux des automobiles en France.

Diagram showing number and power increase of automobiles in France.

allow of their improving their means of communication. From 1869 to 1905 the outlay upon these roads amounted to 1 750 million francs, of which 450 millions supplied by the state. Their annuel cost of upkeep is 160 millions.

Taken together, the whole of the highways and roads in good condition represents a length of 600 000 kilometers, the management and upkeep of which costs from 250 to 300 millions per year. These expenses increase constantly on account of the growing number of automobiles and motor vehicles which require excellent roadways. The diagram herewith shows the rapid increase in the number of these vehicles which increased from 1672 in 1899, to 53 659 in 1910, their horse power (75 kilogrammeters-second) increased from 8 000 to 697 327.

Since that time, the number of automobiles in France has continued to increase and reached 76 144 in 1912, with more than 1 million horse power.

The number of horse drawn vehicles in France for the same period, 1904 to 1912, increased from 1 587 877 to 1 725 123 and it is curious to note that the product of the tax in 1912, was nearly the same for each kind of vehicle, that is, 7 737 770 francs for the automobiles and 7 371 142 francs for the horse drawn vehicles.

As regards the increase in the number of automobiles or motor cars for the last few years, France has allowed itself to be outdistanced by other countries. It is however, incontestable that France has been the birth place of the automobile industry and not only was the first steam driven vehicle started in this country by Cugnot in 1769 but the French constructors, Bollée, Serpollet, Peugeot Panhard and Levassor, etc., can be included amongst the most active and ingenious designers and constructors of the new industry. France then was, in the first few years of the present century, the largest producer of automobiles. In the year 1904, whilst the exportation of French cars exceeded 71 millions of francs, importations did not reach 4 millions.

It was in France that the first automobile races took place which have done so much contribute to the development and to the perfecting of these vehicles : Paris-Bordeaux in 1894 and 1895, Paris-Marseilles in 1896, etc. These races not only largely contributed to the perfecting of these vehicles and their engines, but they drew attention to the necessity of finding means to combat the dust which these vehicles raise and to put the roadways in a fit state to resist this new means of locomotion. Divers processes were at first tried, coating with tar, petroleum, westrumitage, etc., and it was soon recognised that it would be useful for the engineers entrusted with the laying and upkeep of the roads to study the question together. It was with this end in view and due to the initiative of the Minister of Public Works, that the first international road congress took place in Paris in 1908.

On the other hand, the efforts of the French National Touring Office, opened in 1910, for the purpose of taking all the necessary measures for facilitating the transport, excursions and stay of tourists to and in different centres, will have a great influence on the improvement of roads and the organisation of public automobile services.

Pont Alexandre III, à Paris.

Le pont Alexandre III, construit à l'occasion de l'Exposition universelle de 1900, relie les Champs-Élysées à l'Esplanade des Invalides. Situé entre les deux ponts en maçonnerie de la Concorde et des Invalides, il a dû remplir les deux conditions suivantes : 1° ne pas gâter la perspective des Champs-Élysées vers les Invalides; 2° ne pas gêner la navigation de la Seine entre le pont de la Concorde et le pont des Invalides. Le type de l'ouvrage, en arc unique très surbaissé à trois articulations, s'est trouvé déterminé par ces conditions difficilement conciliables.

L'ouvrage est biais et son axe longitudinal coupe l'axe de la voie navigable sous un angle de 83°38'. La largeur du pont est de 40 mètres entre parapets; cette largeur se partage en une chaussée centrale de 20 mètres et deux trottoirs de 10 mètres chacun.

L'arc central a une portée de 107^{m} 50 entre articulations, placées elles-mêmes en saillie de 0^{m} 75 sur le nu des culées. Le surbaissement de l'arc mesuré entre articulations est d'environ $^{1}/_{17}$. L'ossature métallique du pont comprend quinze fermes également espacées; les arcs sont en acier moulé et la superstructure, montants, tablier et viaducs d'accès, en acier laminé. Les parties décoratives formant corps avec le pont sont en fonte. La main-courante seule est en bronze, ainsi que les candélabres et les différents motifs de sculpture placés sur les garde-corps à l'entrée du pont. Les cartouches placés à la clé et aux naissances sont en cuivre repoussé, ainsi que les figures qui les encadrent.

Le type de l'arc et la nature du métal ont été choisis en se basant sur les considérations suivantes. En premier lieu, l'arc étant très surbaissé et d'une hauteur très réduite à la clé, la triple articulation s'est imposée : elle rend, en effet, la stabilité de l'ouvrage presque indépendante de la dilatation; elle diminue, par suite, les efforts dus aux effets de flexion près de la clé et permet de ne faire travailler le métal qu'à la compression; elle a l'avantage d'assurer rigoureusement, même avec un réglage sommaire, la transmission des efforts.

D'autre part, on ne pouvait, en raison des difficultés de la navigation, obstruer par des cintres le lit de la rivière en amont du pont des Invalides; il a fallu constituer les arcs par des voussoirs assemblés au moyen de boulons, ce qui ne présente pas d'inconvénient pour une ossature travaillant entièrement à la compression. Dans un ouvrage ainsi constitué, l'emploi de l'acier moulé s'est trouvé naturellement indiqué.

La hauteur des arcs est de 1 mètre aux naissances, de 1^{m} 50 au milieu et de 0^{m} 90 à la clé. La section transversale des arcs intermédiaires affecte la forme d'un double T : celle des arcs de rive est une archivolte. La largeur des semelles des arcs est uniformément de 0^{m} 60, l'épaisseur variant de 50 à 60 millimètres. Chaque demi-arc se compose de seize voussoirs assemblés au moyen de boulons.

Le tablier métallique du pont est constitué par un platelage de tôle continu de 10 millimètres d'épaisseur sous la chaussée et de 8^{mm} 7 sous les trottoirs. La forme de la chaussée est obtenue avec 5 à 6 centimètres d'épaisseur de béton d'asphalte, posé directement sur le platelage

et recouvert d'une chape en asphalte pure qui porte le pavage en bois. L'épaisseur totale de l'ouvrage à la clé est réduite à certains points à 1m 04 dont 0m 85 pour l'arc et 0m 19 pour le tablier et la chaussée.

Les efforts de compression peuvent atteindre et même dépasser 10 kilogr. par millimètre carré de section des arcs.

L'arc très surbaissé du pont Alexandre III exerce sur les culées des pressions considérables : 288 tonnes par mètre de largeur du pont. Il a donc fallu, comme le montrent les dessins, page 69, établir des culées de très grandes dimensions qui résistent par le simple frottement sur le sol de fondation, sans même tenir compte de la butée en arrière.

Chaque culée est fondée sur un caisson à l'air comprimé de 44 mètres de longueur sur 33 mètres de largeur environ, de 1 474 mètres carrés de superficie, descendu à 10 mètres au-dessous du niveau normal de la Seine.

La partie métallique a été montée au moyen d'un pont roulant de service, de 120 mètres de longueur, qui pouvait servir au montage simultané d'un groupe de deux arcs. Les arcs ont été ainsi montés successivement de l'amont vers l'aval.

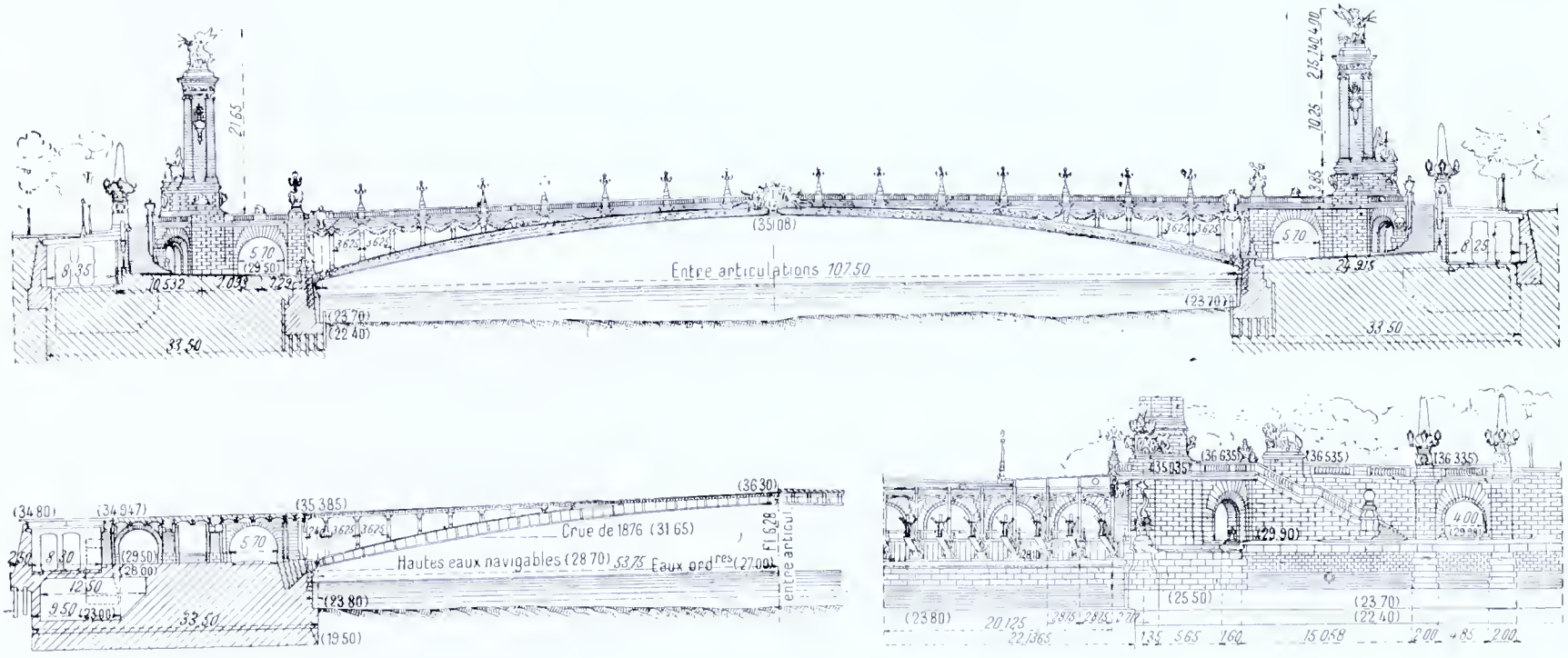
Cet ouvrage, aussi remarquable par sa conception et les difficultés qu'a présentées sa construction que par l'effort artistique qui a participé à sa décoration, est l'œuvre des ingénieurs de l'État, MM. Résal et Alby, et, pour la partie décorative, des architectes Cassien-Bernard et Cousin. Son exécution a été réalisée moitié par MM. Schneider et Cie, du Creusot, moitié par la Compagnie de Fives-Lille.

The Alexander III Bridge, Paris.

The Alexander III bridge, built at the time of the 1900 Exposition Universelle, connects the Champs-Élysées with the Esplanade des Invalides. Situated between the two masonry bridges of the Concorde and the Invalides, it had to fulfil the two following conditions : 1 not interfere with the perspective of the Invalides, seen from the Champs-Élysées, 2 not to interfere with the Seine navigation between the Concorde bridge and the Invalides bridge. The design of the structure, in one arch only very surbased, and with three hinged joints, was based on these considerations difficult of conciliation.

The structure is on the skew and its longitudinal axis cuts the axis of the navigable channel at an angle of 83° 38′. The width of the bridge is 40 meters between parapets; this width is divided into a central roadway of 20 meters and two footways of 10 meters each.

The central arch has a span of 107m 50 between the hinged joints which, themselves, project out 0m 75 from the bare abutments, the surbasement of the arch, measured between the hinges, is about 1/17. The steel structure of the bridge comprises fifteen girders equally spaced: the arched members are in cast steel and the superstructure, vertical members, floor and approach viaduct are in rolled steel. The ormental portions forming part of the bridge are in cast iron. The hand rail is bronze, as also the lamps and their supports and different sculptured armaments placed on the balustrades at the entry to the bridge. The shields placed at the



Élévation et coupes du Pont Alexandre III à Paris, sur la Seine.

Elevation and sections of Alexandre III Bridge on the Seine River, at Paris.

centre and at the springings of the arch are in repoussé copper as well as the figures which frame them.

The type of arch and nature of the metal were chosen upon the following basis : In the first case : the arch being surbased and very low at the centre, the triple hinged joint was necessary it renders the stability of the structure nearly independant of expansion efforts; it diminishes in consequence efforts due to the effects of flexion near to the centre and enables the steel to work under compression only ; it has also the advantage of rigourously ensuring, even with a slight ajustment, the transmission of the strains.

On the other hand, it was not possible, on account of navigation difficulties, to obstruct the bed of the river by wooden centerings above the Invalides bridge, it was necessary to build the arches by assembling the voussoirs with bolts which does not present any inconvenience with members subjected to compression. In a structure thus composed the use of cast steel was naturally indicated.

The height of the arches is 1 meter at the springings, $1^{m}50$ in the middle and $0^{m}90$ in the centre. The transverse section of the intermediary arches takes the form of a double T; that of the shore arches is an archivolt or subarch. The width of the sole plates of the arches is uniformly $0^{m}60$, the thickness varying from 50 to 60 millimeters. Each half arch comprises sixteen voussoirs assembled by bolts.

The floor of the bridge is made of continuous steel plating 10 millimeters thick under the roadway and $8^{mm}7$ under the footways. The roadway is formed with a thickness of 5 to 6 centimeters of asphalte concrete placed directly on the plating and covered with a layer of pure asphalte upon which is placed the wood paving. The total thickness of structure in the centre is reduced in certain parts to $1^{m}04$ of which $0^{m}85$ for the arch and $0^{m}19$ for the platform and the roadway.

The compression strains are sometimes as high as 10 kilogs per square millimeter section of the arches.

The very surbased arch of the Alexander III bridge exerts a considerable pressure on the abutments : 288 tons per meter width of the bridge. It was necessary then, as shown on page 69, to provide very large abutments which resist by simple friction on the soil of the foundations, without even taking into account the thrust beyond.

Each abutment is seated on compressed air caisson, 44 meters long and 33 meters wide, about 1 474 square meters superficial area, placed at 10 meters below the normal level of the Seine.

The steelwork was erected by means of an overhead travelling service crane 120 meters long which could be used for the erection of a group of two arches at a time. The arches were thus erected in succession in the down stream direction.

This structure, as remarkable for its design and the difficulties attending its building as for the artistic effort made in its ornamentation, is the work of State engineers, Messrs Résal and Alby, and the decorative part is that of the architects Cassien-Bernard and Cousin. It was partly built by Messrs Schneider and Cº, of the Creusot, the other half by the Fives-Lille Company.

Pont Adolphe, à Luxembourg,
et pont des Amidonniers, à Toulouse.

Pont Adolphe. — Depuis 1860, le pont de Cabin-John, situé sur la dérivation du Potomac à Washington, détenait, avec 67m 10 d'ouverture, le record de la plus grande arche construite dans les temps modernes. Le pont Adolphe, construit sur la Pétrusse, à Luxembourg, de 1900 à 1903, a porté ce record à 84m 65. Quoique situé en pays étranger indépendant, il y a lieu de le signaler ici, d'une part parce qu'il a été conçu par un ingénieur français, M. Séjourné, et exécuté par des entrepreneurs également français, MM. Fougerolle frères et Edmond Coignet; d'autre part, parce qu'il constitue un type nouveau dont le principe a également été appliqué par le même ingénieur au pont de Toulouse décrit ci-après.

L'idée fondamentale du projet a été de construire non pas un seul pont ayant toute la largeur voulue, soit 16 mètres, mais deux ponts parallèles ayant chacun environ 5 mètres de largeur et séparés par un espace libre de 6 mètres, cet espace libre devant être ensuite recouvert par un plancher en béton armé. Ce système de construction présente des avantages fort nombreux: il permet, notamment, d'utiliser plus largement que dans les ponts ordinaires la résistance de la pierre et de réduire l'importance du cintre, puisqu'on peut faire la deuxième voûte avec le cintre de la première, ripé à son emplacement.

La voûte, dont l'épaisseur est de 1m 44 à la clef, a été construite en trois rouleaux, chaque rouleau étant divisé lui-même en nombreux tronçons.

De chaque côté de cette grande voûte se trouvent deux arches de 21m 60 d'ouverture. L'ouvrage a coûté environ 1 500 000 francs.

Pont des Amidonniers. — Le pont dit des Amidonniers, construit sur la Garonne, à Toulouse, de 1908 à 1912, est constitué par deux ponts étroits parallèles distincts, servant de supports à un plancher en béton armé. Ces ponts ont chacun 3m 25 de largeur en douelle, au sommet, et laissent entre eux un espace libre de 10 mètres. Les poutres du plancher se prolongent de 3 mètres en dehors des tympans en formant console et constituent ainsi des encorbellements qui supportent les trottoirs. On obtient de la sorte une largeur de 22 mètres entre garde-corps : une chaussée de 13m 20 et deux trottoirs de 4m 40.

La longueur totale de l'ouvrage est de 257 mètres et comprend cinq arches elliptiques surbaissées au quart, de 38m 50 à 46 mètres d'ouverture.

Les tympans au-dessus des piles sont évidés par des voûtes en ellipse de 10m 10 à 11m 60 d'ouverture, surbaissées au quart environ.

Le plancher en béton armé est constitué par 84 grandes poutres transversales entretoisées par des pièces longitudinales, le tout recouvert par un hourdis intimement lié à l'ossature. Le hourdis de chaussée est recouvert d'une couche de béton sur laquelle est posé le pavage en bois.

Le prix de revient de l'ouvrage a été de 1 146 000 francs, soit 197 francs par mètre carré de surface utile (chaussée et trottoirs).

The Adolphe Bridge, Luxembourg and the Amidonniers Bridge, Toulouse.

The Adolphe Bridge. — After 1860, the Cabin-John bridge over the Potomac, in West Virgina (United States), held the record of being the largest arch built in modern times. The Adolphe bridge, built over the Pétrusse, at Luxembourg, from 1900 to 1903, increased this span to $84^{m}65$. Although situated in an independent foreign country, it is useful to draw attention to it, first of all because it was designed by a French engineer, Mr Séjourné and the work carried out by Messrs Fougerolle Brothers and Edmond Coignet, and on the other hand because it constitutes a new type of bridge, the principle of which has already been applied by the same engineer to the Toulouse bridge hereafter described.

The fundamental idea of the project was not to build one bridge of the required width that is 16 meters, but two parallel bridges, each having a width of 5 meters and separated by a space of 6 meters, this space to be afterwards covered by a reinforced concrete floor. The advantages of this system are very numerous. It allows of reducing the size of the arch by two thirds of that which would have been necessary for one arch having a sollit of 16 meters since the second arch can be built with the centerings of the first removed to the place of the second.

The arch, which has a thickness of $1^{m}44$ in the centre is built in three superposed rows each row itself being divided into numerows lengths. On each side of this great ach are two others of $21^{m}6$ span. The structure cost about 1 500 000 francs.

The Amidonniers Bridge. — The bridge called the Amidonniers, built over the Garonne at Toulouse, from 1908 to 1912, comprised two distinct narrow parallel bridges serving as a support for a reinforced concrete floor. Each bridge is $3^{m}25$ wide at the soffit ; at the top a space of 10 meters is left between the two. The beams supporting the floor have a overhang of 3 meters beyond the tympans, forming thus brackets for the side walks. A width of 22 meters is thus obtained between the balustrades of which $13^{m}20$ for the roadway and $4^{m}40$ for each of the two side walks.

The total length of the structure is 257 meters and it comprises five eliptical arches a quarter surbased from $38^{m}50$ to 46 meters apening.

The tympans above the piers are hollowed out by eliptical arches from $10^{m}10$ to $11^{m}60$ span surbased at about a quarter.

The floor is in reinforced concrete and is made up of 84 large transversal beams braced by longitudinal members and the whole covered by a filling closely binding the members together. The roadway filling is covered by a layer of cement concrete with a smooth layer on which is placed the wood-block paving.

The cost of the structure was 1 146 000 francs, or 197 francs per square meter of useful surface (roadway and side walks).

Pont Adolphe, à Luxembourg : arche de 85 mètres d'ouverture.
Adolphe Bridge, at Luxembourg : clear span of the arch 85 meters.

Coupe transversale montrant les arcs et les poutres du tablier du pont des Amidonniers, à Toulouse.

Cross section showing archs and girders of the platform. Amidonniers Bridge, at Toulouse.

Le pont Sidi Rached, à Constantine.

La ville de Constantine (Algérie), dite « cité aérienne » (Bled-el-Haloua en langue indigène) est établie sur un plateau rocheux à 200 mètres au-dessus de la plaine qui l'environne et elle est entourée en grande partie par le ravin très profond dans lequel passe le torrent du Rummel. Lors de sa conquête par les Français, en 1837, elle ne possédait qu'un pont dit El Kantara, datant de l'ère romaine et qui a été remplacé par un pont en fonte en 1864.

Par suite de l'extension de la ville on a dû construire tout récemment deux grands ponts sur le Rummel : un pont suspendu dit Sidi M'Cid et un pont en pierre dit Sidi Rached.

Le pont Sidi M'Cid est du type semi-rigide ; il a une portée de 164m30 et son tablier est situé à 174 mètres au-dessus du fond du ravin. C'est donc le tablier le plus élevé du monde par rapport au cours d'eau qu'il franchit.

Le pont Sidi Rached fait partie d'un viaduc en maçonnerie de 447 mètres de longueur composé de vingt-sept arches : treize de 8m 80 d'ouverture, huit de 9m 80, quatre de 16 mètres, une de 30 mètres et enfin une de 70 mètres. Il comprend deux courbes de 50 et une de 108 mètres de rayon, séparées par deux alignements droits contenant les voûtes de 16 mètres, de 30 mètres et de 70 mètres.

La largeur de l'ouvrage est de 12 mètres : une chaussée de 8 mètres et deux trottoirs de 2 mètres chacun.

Sur toute sa longueur, le viaduc est constitué par deux arceaux jumelés, réunis par un tablier en ciment armé, comme aux ponts de Luxembourg et de Toulouse (voir ces ponts, page 73).

Ordinairement, dans les viaducs en courbe, les voûtes sont cylindriques et les piles sont plus ou moins trapézoïdales. Par suite de la grande largeur du pont, ce système aurait conduit à des piles d'une largeur démesurée du côté extérieur et au contraire trop minces sur le parement intérieur. Pour obvier à cette difficulté, on a imaginé de faire les voûtes en forme de conoïde. Les deux directrices du conoïde sont une demi-circonférence située dans le plan axial de l'ouvrage et de la verticale du centre de la courbe. Les génératrices sont horizontales.

L'arche de 70 mètres d'ouverture est composée de deux arceaux semblables, en arc de cercle, dont les rayons sont de 37 mètres à l'intrados et de 40m 97 à l'extrados ; l'épaisseur à la clef est de 1m 50.

D'après l'épure de stabilité, la pression atteint 29 kilogr. par centimètre carré à la clef.

La construction a eu lieu en trois rouleaux successifs.

La plus grande difficulté qu'a présentée l'exécution de la voûte a résidé dans la construction et la mise en place du cintre, par suite de l'impossibilité de prendre aucun appui intermédiaire entre les deux culées. En effet, le Rummel coule en ce point au fond d'une gorge dont les parois sont à pic sur 60 mètres de hauteur.

Vue d'ensemble du pont Sid-Rached, à Constantine (Algérie).

Sidi Rached Bridge, at Constantine (Algeria).

On a adopté un type de cintre retroussé appuyé simplement à ses deux extrémités sur les crêtes du ravin. On a employé deux cintres à la fois, un pour chaque arceau, et on les a reliés ensemble par un contreventement rigide, de telle sorte que la charpente avait en réalité non pas seulement la largeur d'un arceau, soit 4m 88, mais 12m 88 de largeur.

Le montage du cintre a été effectué comme la construction d'un pont-grue, en soutenant par des haubans convenablement disposés les arbalétriers au fur et à mesure de leur mise en place.

Pour mettre en place les bois du cintre, l'entrepreneur avait d'abord à sa disposition un grand télécharge, établi dans l'axe même de la grande arche et qui servait au transport des matériaux, et deux télécharges auxiliaires desservant l'un l'arceau de droite, l'autre l'arceau de gauche.

Le décintrement s'est, en quelque sorte, effectué tout seul par le fait de la dessiccation des bois.

Le tablier, en sidéro-ciment, qui réunit les deux viaducs jumeaux, est formé d'un hourdis de 0m 15 d'épaisseur, renforcé par des nervures espacées de 1m 75 d'axe en axe.

Dans le sens longitudinal, il y avait à craindre, non seulement les effets de la dilatation, mais encore l'influence des mouvements de montée et de descente des clefs des voûtes, mouvements susceptibles eux aussi de provoquer des désordres dans le hourdis. Pour les éviter, le tablier a été formé de tronçons de 11 mètres, séparés les uns des autres par un joint vide de 1 centimètre.

Le coût du viaduc tout entier, pour la longueur de 447 mètres, a été de 1 830 000 francs, soit de 340 francs le mètre superficiel en plan.

The Sidi Rached Bridge, at Constantine.

The city of Constantine (Algeria), called "the Aerial City" (Bled-el-Haloua in the native tongue) is built on a rocky plateau 200 meters above the plain around it, and is very nearly surrounded by a very deep ravine through which passes the torrent of the Rummel. At the time of its conquest by the French, in 1837, there was only one bridge called El Kantara, dating from the roman era and which was replaced by a cast iron bridge en 1864.

On account of the increase in size of the city it has been necessary, quite recently, to build two bridges over the Rummel, a suspension bridge called Sidi M'Cid and a stone bridge called the Sidi Rached.

The Sidi M'Cid bridge is of the semi-rigid type and has a span of 164m 30, its platform being at 174 meters above the bottom of the ravine. It is therefore the highest superstructure or roadway in the world as regards theestream which it spans.

The Sidi Rachid bridge is part of a masonry viaduct of 447 meters length, comprising twenty seven arches, thirteen of 8m 80 span, eight of 9m 80, four of 16 meters, one of 30 meters and one of 70 meters. It has

Vue de la grande voûte de 70 mètres d'ouverture du pont Sidi Rached.

The great arch 70 meters opening, Sidi Rached Bridge.

two curves of 50 and one of 108 meters radius, separated by two straight rows of arches, the spans of which are 16m 30 and 70 meters.

The width of structure is 12 meters, a roadway 8 meters wide and two side walks, each having a width of 2 meters.

The arches throughout the whole length of the viaduct comprise two parallel ribs tied together by a reinforced concrete floor, like for those of the Luxembourg and Toulouse bridges (see these bridges page 73).

In curved viaducts, the arches are generally of cylindrical form and the piers more or less of trapezoïdal form. On account of the great width of the bridge, this system would have called for piers of excessive dimensions on the outsides and of too small dimensions on the inner sides. To avoid this difficulty, the engineer, Mr Guérin, designed arches of conoidal form. The two directrices of the conoid are a half circumference situated in the axial plan of the structure and the vertical from the centre of the curve. The generatrices are horizontal.

The arch of 70 meters opening comprises two parallel semi-circular ribs having a radius of 37 meters at the intrados and 40m 97 meters at the extrados; the thickness at the key stone being 1m 50.

According to the stability diagram, the pressure amounts to 29 kilogs. per square centimeter at the keystone. The construction of the arch was carried out in three superposed rows.

The greatest difficulty experienced in building the arch was in the construction and erection of the centering, on account of its being impossible to find any bearing between the two butresses. The Rummel flows, in that particular locality, at the bottom of a gorge, the walls of which are perpendicular to a height of 60 meters.

A centering in the form of an arch was employed with a thrust on each side of the ravine. Two such centerings were used at the same time for the two parallel ribs and braced together as rigidly as possible so that the woodwork hat not only the width of one rib of the arch, that is 4m 88, but a width of 12m 88.

The erection of the centering was carried out as for a cantilever bridge, the members of same being held by guys as the assembling of the woodwork proceeded.

To erect the centerings, the contractor had at his disposal a long aerial steel ropeway which crossed the ravine in the center line of the large arch and which was used for transporting the materials, and two other auxiliary ropeways of which one for the right rib and the other for the left rib.

The platform, in sidero-cement, binding the two parallel spans of the arch together, is formed by a filling 0m 15 thick, reinforced by ribs, at a distance of 1m 75 from centre to centre.

In the longitudinal direction not only the effects of dilatation were feared but the influence of the rising and falling movements of the keystones, movements likely to provoke disturbances in the fillings. To avoid this, the platform was made in lengths of 11 meters, separated from each other, leaving a space between the joint of 1 centimeter.

The cost of the whole viaduct, for the length of 447 meters, was 1 830 000 francs, or 340 francs per square meter in plan.

Canaux et rivières navigables.

Un des premiers soins de la troisième République fut d'entreprendre, dès 1872, par la construction du canal de l'Est, le rétablissement des communications fluviales qu'interceptait la nouvelle frontière imposée à la France par le traité de Francfort. Des travaux très importants furent prévus et exécutés pour l'amélioration des rivières navigables et la construction de nouveaux canaux.

Dans le grand programme de travaux publics élaboré en 1879, dit programme Freycinet, et auquel il a déjà été fait allusion page 7, sur un total de 5 milliards de francs, environ 1 milliard devait être affecté au développement des voies navigables. Des difficultés financières ont empêché la réalisation totale de ce programme, mais, par contre, une loi, en date du 22 décembre 1903, a prescrit l'exécution de nouvelles voies fort importantes.

Une réforme capitale, prescrite par la loi du 5 août 1879, a consisté dans l'unification des lignes principales du réseau. Elle a eu pour but de fusionner des voies ou des tronçons créés à la demande d'intérêts locaux et d'en faire de grandes artères mettant Paris en relations régulières avec les ports de la Manche et de la Méditerranée, ainsi qu'avec les réseaux des pays frontières, au Nord et à l'Est. Ces voies doivent être susceptibles de recevoir partout les bateaux de 300 tonnes, et pour cela il a fallu les aménager en vue d'un gabarit uniforme : mouillage de 2 mètres, écluses d'une longueur de $38^{m}50$ et d'une largeur de $5^{m}20$, hauteur libre de $3^{m}70$ entre le plan d'eau et l'intrados des ponts fixes.

Les canaux construits depuis 1878, dont la longueur totale est de 684 kilom., ont naturellement été munis d'ouvrages réalisant largement ces conditions. Les principaux sont le canal de l'Est, dont la longueur est de 361 kilom., et le canal de la Marne à la Saône, dont la longueur est de 225 kilom. Parmi ceux actuellement en cours d'exécution d'après le programme de 1903, le plus important est le canal du Nord, dont la longueur est de 95 kilom. De plus, le canal de Marseille au Rhône, entrepris à la suite d'une loi spéciale du 24 décembre 1903, aura 77 kilom. de longueur.

Pour les rivières, les améliorations ont été diverses : pour la Seine, en particulier, elles ont eu pour but de réaliser un mouillage de $3^{m}20$ entre Paris et Rouen, point jusqu'où cette rivière est accessible aux navires de haute mer. On verra, page 84, comment ce résultat a été obtenu.

La longueur totale des voies navigables (fleuves et canaux) actuellement en service, ayant au minimum 2 mètres de mouillage et des

cluses de 38m50 de longueur utile et 5m20 de largeur, c'est-à-dire le gabarit imposé par la loi du 5 août 1879, s'est augmentée de la manière indiquée par le tableau ci-après :

	Fleuves et rivières.	Canaux.	Ensemble.
	—	—	—
Longueur en 1878 . kilom.	996	463	1 459
— 1912	2 128	2 747	4 875
Augmentation.	1 132	2 284	3 416

La longueur totale des canaux est de 4880 kilom. et celle du réseau fluvial classé de 16 738 kilom., mais sur ces derniers 6384 kil. seulement sont réellement fréquentés.

Il est intéressant de donner le tableau des dépenses faites, au siècle dernier, en travaux de navigation intérieure, sous les divers Gouvernements qui se sont succédé depuis 1814 :

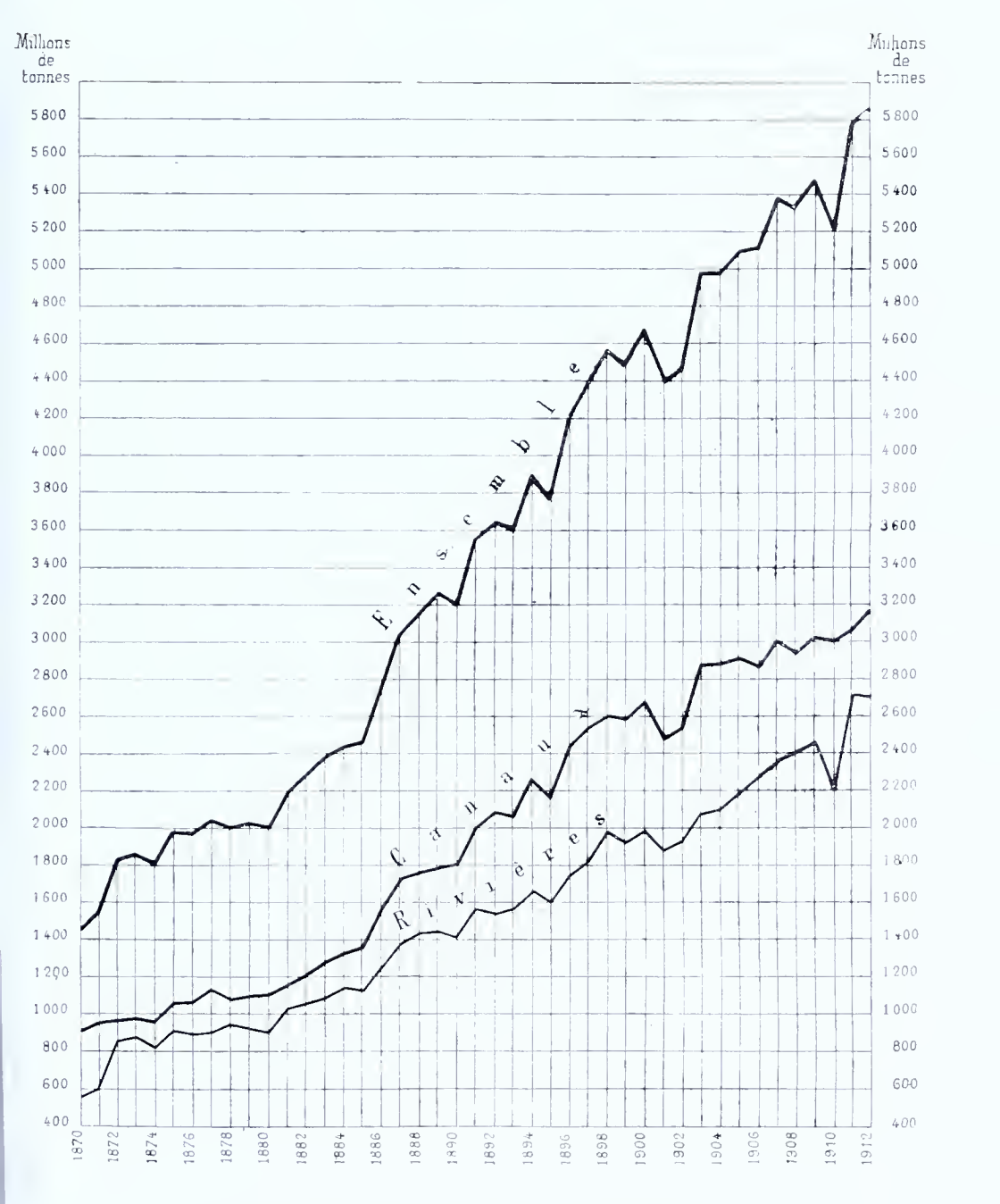
Périodes.	Travaux ordinaires.	Travaux extraordinaires.	Ensemble.
—	—	—	—
1814-1830 . Fr.	149 179 000	33 608 000	182 787 000
1831-1847 . . .	341 246 000	141 006 000	482 252 000
1848-1851 . . .	37 792 000	44 757 700	82 859 000
1852-1870 . . .	238 792 000	212 698 000	451 490 000
1870-1900 . . .	773 072 000	327 532 000	1 100 604 000
Totaux . .	1 540 081 000	759 601 000	2 299 682 000

Le réseau de navigation intérieure est presque entièrement administré par l'État. Depuis 1880, l'abolition des péages a été réalisée sur tout le réseau non concédé et le rachat de toutes les concessions a été progressivement opéré, sauf sur 225 kilom. qui restent concédés.

Il en résulte naturellement une lourde charge pour l'État, les dépenses annuelles d'entretien et d'administration étant d'environ 20 millions de francs et n'étant compensées que par 3 millions de recettes (prises d'eau, pêche, impôt sur les bateaux à voyageurs).

Le trafic s'est rapidement développé à la suite de ces réformes, ainsi que le montre le graphique ci-contre. On voit que tandis que le tonnage kilométrique (produit des tonnes effectives par la longueur du trajet qu'elles ont effectivement parcouru) tendait à rester stationnaire à partir de 1875, il a rapidement progressé à partir de 1880.

Les grands travaux d'amélioration des voies navigables existantes, ou de création de nouvelles, ont donné lieu à des ouvrages très remarquables, dont quelques-uns ont constitué des types qui ont été reproduits ou imités à l'étranger. Nous signalerons, à titre d'exemple, quelques-uns d'entre eux.



Fréquentation des voies navigables françaises de 1870 à 1912
(tonnage ramené au parcours de 1 kilomètre).

Frequentation of French Waterways from 1870 to 1912
(tonnage per kilometer of travel).

Canals and Rivers.

One of the first tasks of the third Republic was that of undertaking, from 1872, the construction of the Eastern canal, the reopening of fluvial communications intercepted by the new frontier which was forced on France by the treaty of Frankfort. Very important work was provided for and carried out for the improvement of navigable rivers and the construction of new canals.

In the large program of public works, elaborated in 1879, called the Freycinet program, and of which mention has already been made on page 7, 1 millard of francs out of the total of 5 millards was to be devoted to the development of navigable waterways. Financial difficulties have prevented the total realisation of this program, but on the other hand, a law of 22nd December 1903 prescribed the building of very important new waterways.

A capital reform prescribed by the law of 5th August, 1879, consisted in the uniting of the principal canals, the object of which was to join together the lines or short lengths built to meet demands in connection with local requirements and to make great waterways of them, thus putting Paris in regular communication with the Channel and Mediterranean Ports as well as with the lines of canals of the countries on the Northern and Eastern frontiers. These waterways should be capable of accomodating boats of 300 tons throughout their whole length, and, in order to accomplish this, arrangements for a uniform gauge had to be made, depth of 2 meters, length of locks 38m 50, a width of 5m 20 and a clear height of 3m 70 from the water level to the intrados of fixed bridges.

The canals built since 1878, the total length of which is 684 kilometers have, of course, construction work responding amply to the requirements. The principal of these are the Eastern canal, length of which is 361 kilometers and the canal from the Marne to the Saone, of which the length is 225 kilometers. Amongst the largest of those on the program of 1903, now being built, is the Northern canal, length of which is 95 kilometers. There is also the canal from Marseilles to the Rhone, the work of which was commenced after the passing of a special law on the 24th of December 1903. The length of this canal is 77 kilometers.

As regards the rivers, the improvements in their connection have been of divers kinds especially as regards the Seine: they have been made in order to provide for a uniform depth of 3m 20 between Paris and Rouen, up to which place the river is accessible to ships of large tonnage. The explanations on page 86 will show how this result has been obtained.

The total length of the navigable waterways, rivers and canals, in actual use, having a minimum depth of 2 meters and locks 38m 50 in length, width being 5m 20, that is to say, the gauge required by the law of 5th August 1879, has been increased as shown by the following table :

	Rivers.	Canals.	Together.
Length in 1878. kilom.	996	463	1 459
Length in 1912.	2 128	2 747	4 875
Increase.	1 132	2 284	3 416

The total length of the canals is 4 880 kilometers and that of the rivers 16 738 kilometers, but only 684 kilometers of the latter are really used.

It is interesting to give the following table of expenditure for the last century in connection with inland navigation work under different successive governments since 1814 :

Periods.	Work performed ordinary.	Work performed extraordinary.	Together.
1814-1830 . Fr.	149 179 000	33 608 000	182 787 000
1831-1847 . . .	341 246 000	141 006 000	482 252 000
1848-1851 . . .	37 792 000	44 757 700	82 859 000
1852-1870 . . .	238 792 000	212 698 000	451 490 000
1870-1900 . . .	773 072 000	327 532 000	1 100 604 000
Total. . .	1 540 081 000	759 601 000	2 299 682 000

The inland navigable waterways are nearly entirely under State administration. Since 1880 the abolition of tolls has been accomplished on the whole line of canals not conceded, and the buying up of the whole of the concessions has been carried out except for 225 kilometers still under concession.

This results in a heavy burden for the state, the annual expenditure of upkeep and administration being about 20 millions francs, which are met by 3 millions francs receipts only (water supply, fishing and taxes on passengers boats).

The traffic rapidly increased after these reforms, as shown by the accompanying diagram. It will be seen that whilst the kilometric tonnage (product of the effective tons by the effective length travelled) had a tendency to remain stationery after 1875, it progressed rapidly after 1880.

The great works carried out for the improvement navigable waterways or the creating of new ones, has been productive of many remarkable constructional works, some of which have been considered as model types of construction and reproduced or imitated abroad. We will mention a few amongst them.

Canalisation de la Seine
entre Paris et Rouen.

Malgré l'importance qu'elle a eue de tout temps pour les transports entre Paris et la mer, la navigation de la Seine était, au commencement du XIXe siècle, fort difficile, souvent dangereuse et interrompue, pendant près de six mois par an, par les crues, les glaces et principalement par les basses eaux.

Les premières études de canalisation remontent à 1824, mais ce n'est qu'en 1834 que Poirée résolut le problème en inventant les barrages à fermettes et aiguilles, et que l'on put entreprendre efficacement la canalisation de la Seine. Il présenta, en 1845, un projet général de canalisation de la Seine destiné à réaliser, entre Paris et Rouen, un mouillage constant de 2 mètres au moyen de quatorze barrages éclusés, qui ne fut mis à exécution qu'un peu plus tard. Les dépenses faites de 1858 à 1878 pour les nouveaux travaux s'élevèrent à 13 782 000 francs.

La loi du 6 avril 1878 décida qu'on remanierait tous les ouvrages de la Seine pour maintenir en tout temps un mouillage minimum de 3m 20 entre Rouen et Paris, et la loi du 21 juillet 1880 prescrivit de réaliser le mouillage de 3m 20 dans toute la traversée de Paris.

Les dépenses faites de 1878 à 1888 se sont élevées à 50 500 000 francs pour la première loi et 10 500 000 francs pour la seconde.

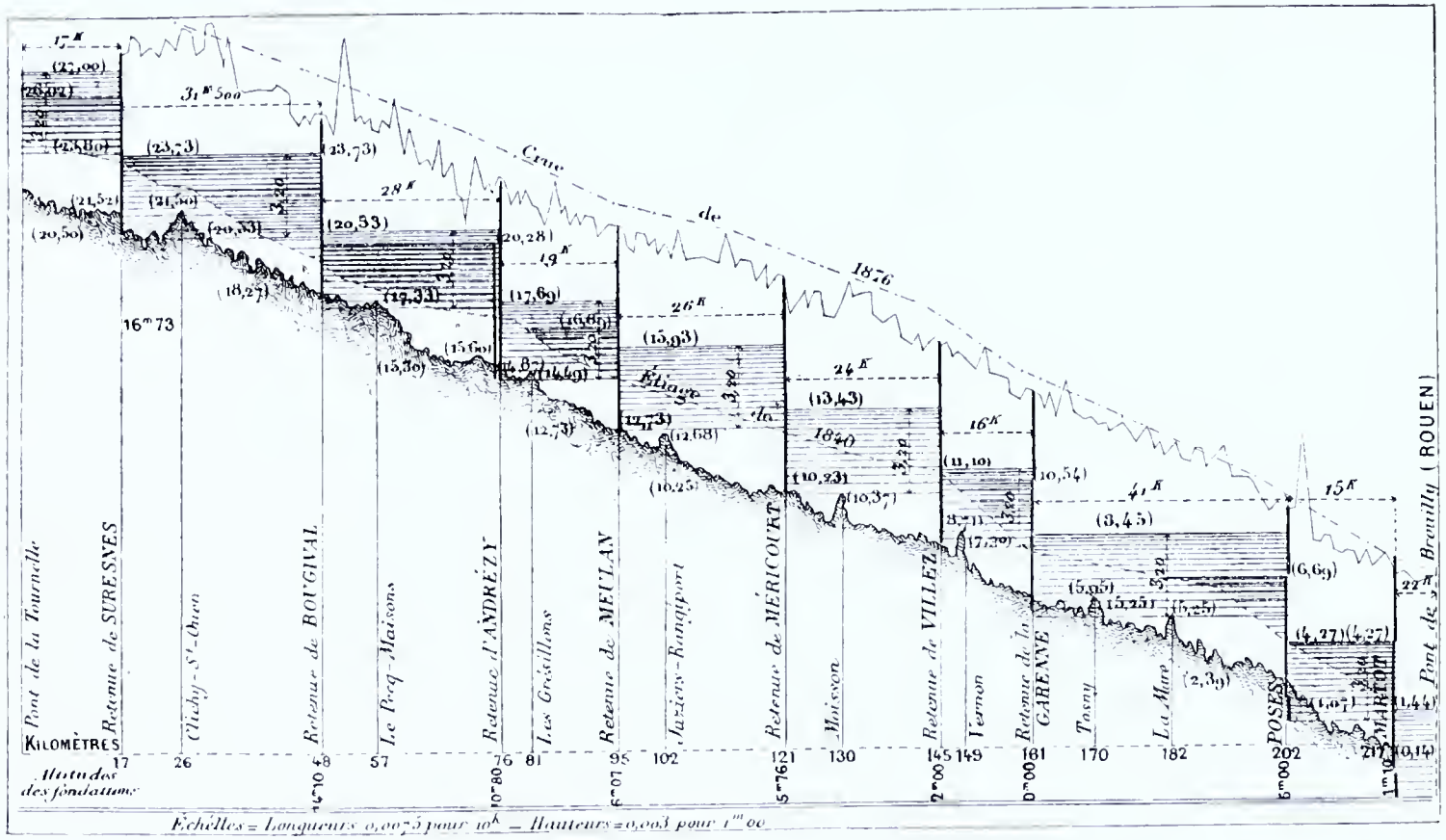
La pente naturelle de 25m 50 de la Seine entre l'écluse de Port-à-l'Anglais, à l'amont de Paris, et le plus bas niveau des pleines mers à l'aval de l'écluse de Martot a été rachetée par neuf barrages éclusés, comme l'indique le graphique page 97. La marée se fait sentir jusqu'à Martot et le mouillage de 3m 20 au-dessous des plus basses pleines mers connues a été obtenu, entre Martot et Rouen, au moyen de dragages.

Deux écluses, au moins, permettent de franchir la chute de chaque barrage : la grande écluse destinée aux convois peut contenir, en même temps, six bateaux de 45 mètres de longueur et 8 mètres de largeur ou bien neuf péniches de 38m 50 de longueur sur 5 mètres de largeur ; la petite écluse est destinée au passage des bateaux isolés.

Chacune des retenues est constituée par un ou plusieurs barrages, comprenant une ou plusieurs passes navigables et d'autres dites : passes non navigables, et servant quelquefois de déversoirs.

Ces travaux ont donné un excellent résultat et grâce à eux le prix du fret a été considérablement diminué. Ils ont été complétés dans ces dernières années par la transformation en ports à quais droits de la plupart des ports de tirage dans presque toute la traversée de Paris.

Par suite des diverses améliorations de la navigation en aval et en amont de Paris, cette ville est actuellement le port de France qui dessert le plus fort tonnage : le trafic s'y est, en effet, élevé en 1912 à 13 708 206 tonnes de marchandises, alors qu'il n'était que de 9 227 879 tonnes à Marseille, le premier port maritime de France.



Profil en long de la Seine canalisée entre Paris et Rouen.

Longitudinal section of the Seine River between Paris and Rouen.

The Canalisation of the Seine between Paris and Rouen.

Notwithstanding the importance of the river Seine at all times as regards transport between Paris and the sea, its navigation at the commencement of the nineteenth century was very difficult, often dangerous and interrupted for six months of the year by floods, ice and principally by periods of drought.

The canalisation of the Seine was first studied as far back as 1824, but it was only in 1834 that Poirée solved the problem by designing barrages of the stageing or trestle and stake type and it was then possible to undertake the canalisation of the Seine, destined to ensure a constant depth of 2 meters, by means of fourteen lock barrages, which was carried out shortly after. The expenditure from 1858 to 1878 for the new works was 13 782 000 francs.

A law was passed in 1878 to the effect that all the works on the Seine were to be so modified as to maintain at all times a constant minimum depth of water of 3m 20 between Rouen and Paris, and the law of 21st July 1880, specified that the same depth of 3m 20 was to be maintained throughout the whole of the Paris channel.

The amount of money spent from 1878 to 1888 was 50 500 000 francs for the work in connection with the first law passed and 10 500 000 francs for the second.

The natural fall of 25m 50 of the Seine between the locks of Port-à-l'Anglais, above Paris, and the lowest level at high tide below the Martot lock, has been stepped down by nine locks as shown by the diagram page 97. The tide makes itself felt as far as Martot, and the depth of the water in the channel, 3m 20 below that of the lowest tides known at the mouth of the river, has been maintained by dredging.

Two locks at least allow of clearing the fall at each barrage: the large lock used for trains of boats being able to hold six boats at a time, of 45 meters length and 8 meters width, or nine barges of 38m 50 length and 5 meters width, the small lock being reserved for the passage of single boats. Each impound comprises one or several barrages with one or two navigable channels and others called non navigable and serving sometimes as weirs.

These works have been productive of excellent results and it is owing to them that the price of freight has been considerably reduced. They have been completed in the last few years by the transforming of ordinary landings into quays nearly throughout the whole waterway across Paris.

As a result of these different improvements in navigational facilities below and above Paris, this city holds at present the largest record of tonnage, traffic having increased there in 1912 to 13 708 200 tons of merchandise, whilst at Marseilles, the largest sea port in France, it was only 9 227 879 tons.

Barrage de Poses, sur la Seine.

Parmi les barrages établis pour la canalisation de la Seine dont nous avons parlé page 84, le plus important, et en même temps le plus intéressant par son genre de construction, est celui de Poses, le deuxième en partant de l'aval (voir le profil page 85). Il crée, en effet, une retenue de 5 mètres de hauteur et sa longueur est de 235 mètres, entre culées, divisée en sept passes dont deux à radier surélevé et cinq profondes, dites passes navigables.

C'est au barrage de Poses qu'a été inauguré, en 1880-1885, le système imaginé par l'Inspecteur général des Ponts et Chaussées Caméré, système qui a depuis reçu un grand nombre d'applications, notamment pour le barrage de garde de la deuxième écluse du Sault de Sainte-Marie (États-Unis) et pour les barrages de même nature établis en avant des portes d'écluses du canal de Panama.

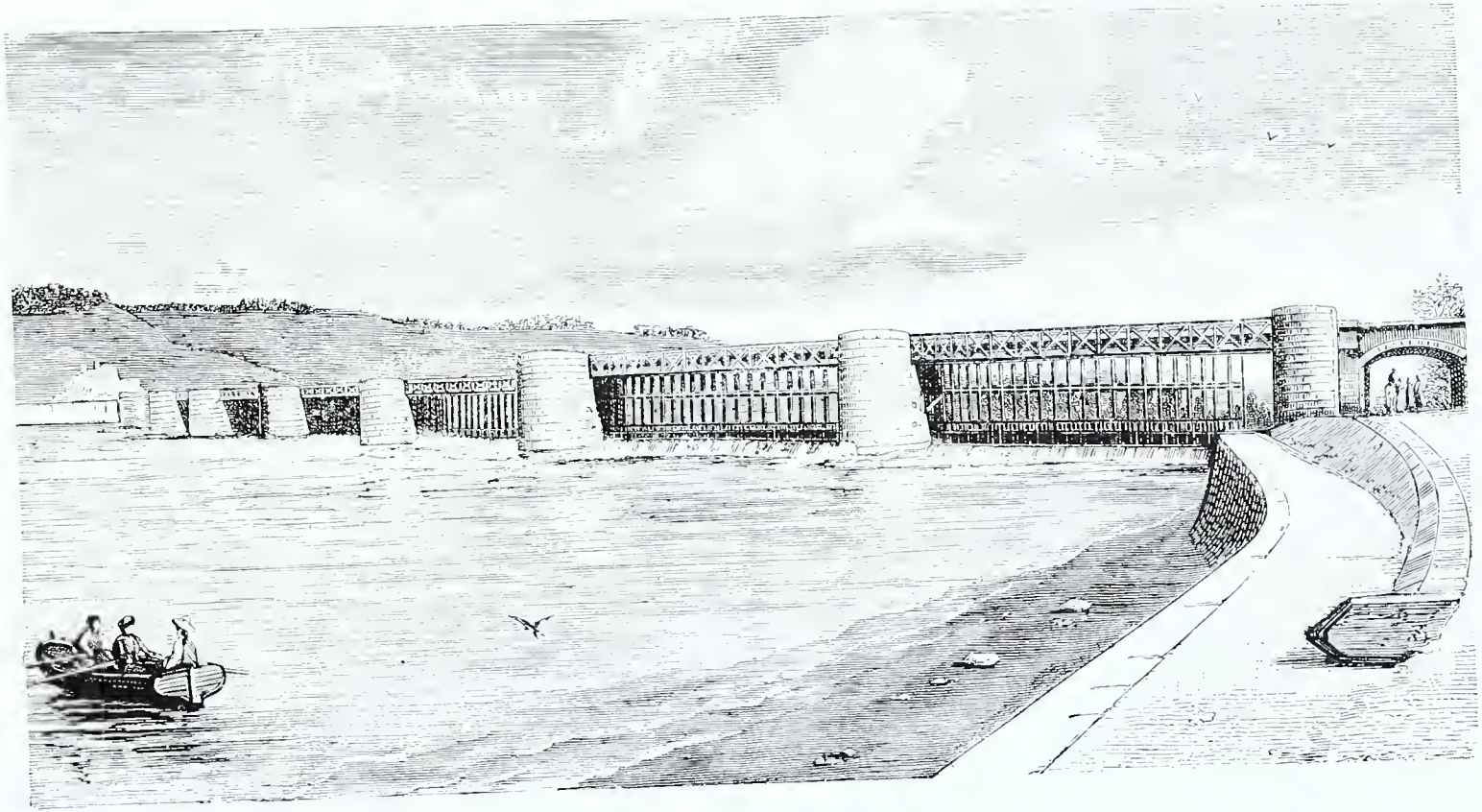
Ce système de barrage (pages 88 et 89) se compose d'un ensemble de cadres métalliques suspendus à un véritable pont et venant buter, par leur partie inférieure, contre le seuil d'un radier formant appui. Sur ces poutrelles viennent s'appliquer des rideaux composés de petites lames en bois et qu'il est possible, au moyen de treuils placés sur une passerelle que l'on voit page 89, d'enrouler à la façon des stores. On peut ainsi, en enroulant un plus ou moins grand nombre de rideaux, régler à volonté l'écoulement de l'eau de la rivière. Quant au relevage des cadres, il s'effectue au moyen de treuils placés sur le pont et il n'est généralement nécessaire d'y procéder que pour livrer passage aux grandes crues ou bien aux glaces et corps flottants.

Pour parer à l'impossibilité éventuelle de relever les cadres vers l'amont, leurs articulations sont placées dans des glissières verticales, ce qui réserve la possibilité de les soulever d'une hauteur suffisante pour que leur pied échappe les heurtoirs; le cadre peut alors décrire un mouvement de rotation vers l'aval et être, au besoin, relevé de ce côté.

En outre des avantages déjà signalés, ce système de barrage présente la qualité, très précieuse, de ne comporter aucune partie métallique constamment immergée. Toute la partie mobile est, en effet, suspendue au pont mobile, de sorte qu'il est facile de visiter et changer, si besoin est, soit un cadre, soit un rideau.

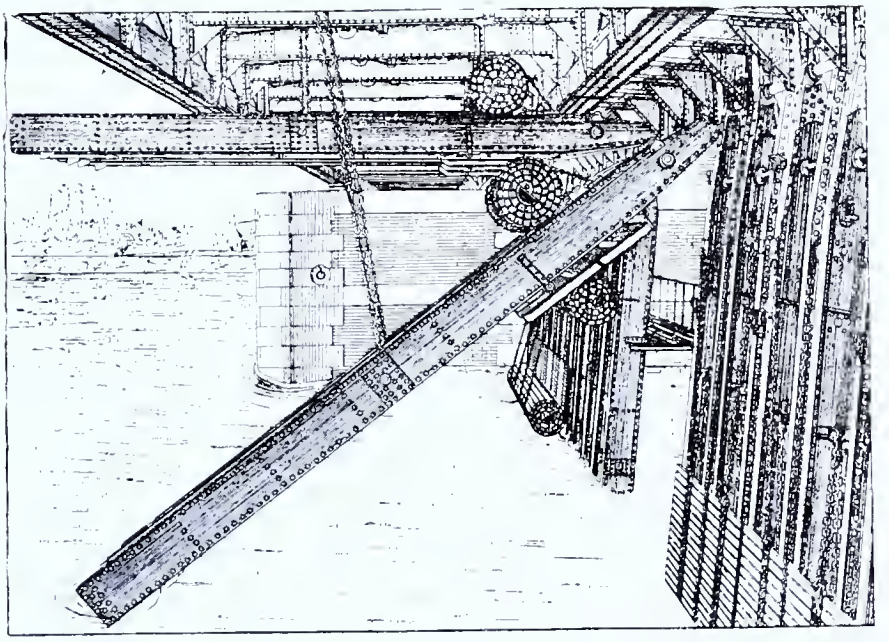
Le poids des fers et fontes employés dans les diverses parties des ponts supérieurs et des cadres forme un total de 1 300 tonnes. Le poids d'un rideau muni de ses chaînes de suspension et de manœuvre est, moyenne, de 911 kilogrammes pour les passes navigables et de 516 pour les autres. L'ouvrage a coûté près de 4 millions de francs, soit un peu plus de 16 500 francs par mètre courant, mais sur ce dernier chiffre 4 800 francs se rapportent aux maçonneries en élévation et 8 500 francs aux fondations qui ont été, en partie, exécutées à l'air comprimé.

Jusqu'en 1900, la manœuvre des treuils de relevage de ces organes s'est faite à la main, mais, depuis 1900, ces treuils sont actionnés par un courant électrique fourni par la chute.



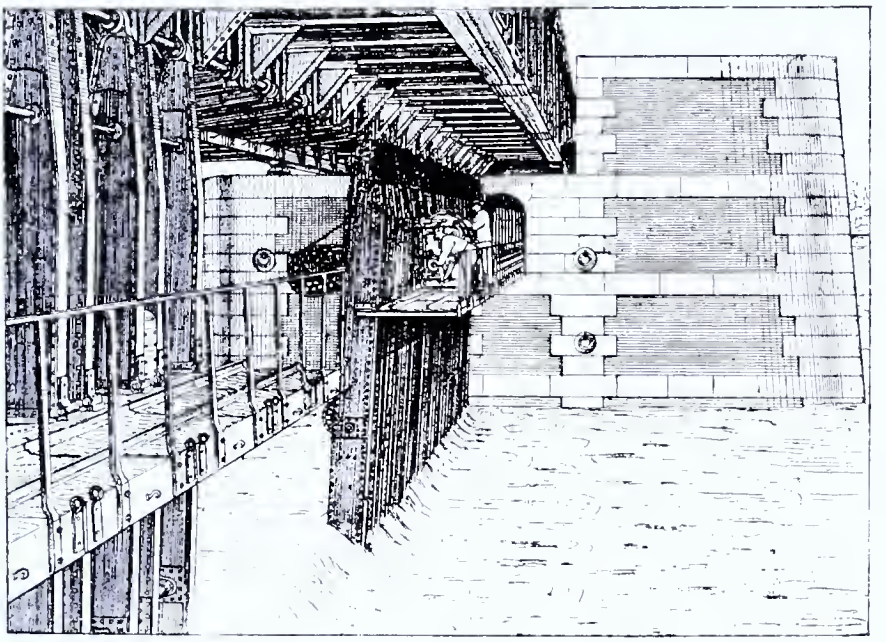
Ensemble du barrage de Poses, sur la Seine, vue prise de l'aval.

The Poses Barrage on the Seine River. View from below.



Barrage de Poses, vue de l'amont : relevage d'un cadre.

The Poses Barrage. View from above. Lifting up of a frame.



Barrage des Poses, vue de l'aval : relevage d'un rideau.

The Poses Barrage. View from below. Lifting up of a curtain.

The Poses Barrage on the Seine

Amongst the barrages built in connection with the navigable passage of the Seine, which we mention on page 86, the most important and, at the same time, the most interesting on account of its type of construction, is that of Poses, the second down stream (see profile page 85). It has a back water of 5 meters, and its length is 235 meters between the shore piers and is divided into seven openings of which two with raised floors, the other five being deep and called navigable channels.

It is at the Poses barrage that the system designed by Mr Caméré, Inspector General of Bridges and Roads, was inaugurated in 1880-1885, system which has since been applied to numerous other barrages, namely, to the guard barrage of the second lock of the Sault of Sainte Marie (United States) and to the same kind of barrage built in front of the lock gates of the Panama canal.

This system of barrage (page 88 and 89) comprises a series of steel frames hanging from what may really be termed a bridge and their lower part resting against the sill of the submerged floor. Curtains made of small wooden lathes rest against the vertical members of the framing and are rolled up like blinds by means of winches placed on the platform seen on page 89. The flow of water can thus be regulated as desired by rolling up a greater or lesser number of curtains. As to lifting up the frames, this is done by winches placed on the bridge and is only occasionally necessary to effect this operation in order to leave a free passage for the heavy floods or for ice and floating bodies.

In order to provide against the impossibility of raising the frames in the up stream direction, the hinges are arranged with vertical grooves, which allows of their being raised sufficiently to enable the lower part to clear the sill against which it rests, and the frame can then be made to turn on its hinges in the down stream direction and, in case of need, raised on that side.

Beyond the advantages already pointed out, this system of barrage has another, very precious one, in that of no metallic part being constantly immersed. All the movable parts are hung from the movable bridge so that it is easy to visit and change, in case of need, either a frame or a curtain.

The weight of the steel work and cast iron used for the different parts of the upper bridges and for the frames, makes a total of 1 300 tons. The weight of a curtain provided with its suspension and working chains is, upon an average, 911 kilogs. for the navigable passages and 516 kilogs. for the others. The work cost about 4 million francs or a little more than 16 500 francs per linear meter, but in this last mentioned figure is included 4 800 francs for the masonry work, in elevation, and 8 500 francs for the foundations, which were partly built under compressed air.

Up to 1900, the working of the winches for lifting the parts was done by hand, but in 1900, these winches were operated by electro-motor power supplied by the fall.

Barrage d'Elbeuf, sur la Seine.

Le barrage d'Elbeuf, sur la Basse-Seine, dont la construction devait commencer au mois d'août 1914, sera situé à 1 300 mètres environ en aval de l'ancien barrage de Martot, qu'il remplacera et qui sera démoli (voir le profil en long de la page 85).

Le nouvel ouvrage se trouvera ainsi à proximité immédiate des écluses accolées de Saint-Aubin, actuellement au nombre de deux et auxquelles une troisième doit être adjointe. Elles sont placées sur une dérivation du fleuve et rachètent la première des sept chutes à franchir entre le port maritime de Rouen, placé sur la Seine à 125 kilom. environ de la mer, et le port de Paris.

L'ancien barrage date de 1863-1866 : c'est un barrage à fermettes mobiles supportant des aiguilles.

Dans la région d'Elbeuf-Martot, la marée se fait encore sentir, de telle sorte que la chute varie constamment : elle arrive à s'annuler complètement pendant les fortes pleines mers et dépasse 3 mètres au moment des plus basses mers.

Le barrage actuel retient les eaux d'amont à la cote constante (4m 27), qui assure, sur tous les points hauts du lit dans le bief d'amont, une profondeur d'eau minima de 3m 20, permettant la circulation des bateaux avec le tirant d'eau de 3 mètres. Dans ces conditions, les plus grands chalands en service atteignent 1 200 à 1 300 tonnes de charge utile.

Le nouvel ouvrage permettra de porter à 4m 50 la profondeur d'eau disponible et à 4m 25 le tirant d'eau effectif des bateaux, de manière à accepter la circulation des allèges de mer et des grands chalands jusqu'au déplacement utile de 2 500 tonnes. Il aura, pour la circulation des trains de bateaux pendant les crues, une passe navigable de 70 mètres de longueur : elle a été disposée dans la partie la plus profonde du lit.

La fermeture de cette passe est disposée suivant le type des barrages à pont supérieur, dans lesquels tous les organes mobiles sont élevés au-dessus de l'eau pour effacer la retenue. C'est, en quelque sorte, une combinaison du système du barrage de Poses (voir page 87) et du barrage de Tuilière (voir page 117).

La bouchure se compose de dix vannes : chacune d'elles roule, par l'intermédiaire de deux files de galets, sur deux montants en charpente métallique, sensiblement verticaux, entretoisés entre eux de manière à former un cadre. Les deux montants de chaque cadre sont articulés à leur partie supérieure sur des axes horizontaux attachés sous le tablier inférieur du pont métallique.

Lorsque le barrage est tendu, la poussée sur les vannes est répartie par les cadres sur des butées encastrées dans le seuil maçonné et sur les poutres horizontales constituées par le tablier inférieur du pont.

Pour ouvrir le barrage, on relève les vannes au moyen de treuils (un par vanne) qui sont installés sur le tablier supérieur du pont métallique. Les chemins de roulement, constitués par les cadres pendants, sont d'ailleurs continués au-dessus du tablier inférieur par des chemins fixes.

de telle sorte que les vannes se logent entièrement entre les deux tabliers : c'est cette condition qui a déterminé les dimensions du pont. Devant la rangée des vannes soulevées règne une voie ferrée portant un chariot spécial, pour amener ces vannes à terre en vue des réparations.

Une autre voie, sur le même tablier inférieur, sert à la circulation des trenils au moyen desquels on relève, par l'intermédiaire de câbles métalliques, les cadres pivotant autour de leur articulation supérieure : lorsqu'ils sont amenés ainsi à la position horizontale, la hauteur libre au-dessus des plus hautes eaux navigables est de 6 mètres.

Comme particularités de l'ouvrage, on peut signaler les suivantes :

Les vannes ne sont pas d'un seul morceau : on a craint qu'en raison de la flexion des cadres de support, les galets de chaque pile ne portassent pas également sur leurs rails : il en serait résulté des efforts anormaux dans les divers éléments de la bouchure. Chaque vanne est formée par deux demi-vannes superposées, la hauteur de chacune étant calculée pour qu'elles supportent une même charge totale : chacune d'elles comporte deux galets de roulement seulement dans chaque file, ce qui assure la répartition constante des efforts, et elles sont reliées à la fois par des articulations, qui leur permettent de légers déplacements relatifs, et par un joint métallique flexible.

Les bords latéraux des vannes sont environ à $0^{m}35$ des bords des vannes voisines : ce jeu correspond aux entretoises du tablier du pont entre lesquelles les vannes doivent passer. On se propose de fermer les intervalles ainsi créés au moyen de couvre-joints en tôle, présentant la forme de quarts de cercle en section horizontale et pivotant autour de tringles fixées sur les rives des vannes.

Les passes non navigables ont uniformément une largeur de $31^{m}50$.

Chacune d'elles est franchie par une passerelle métallique portant une voie ferrée en prolongement de celle de la passe navigable et permettant ainsi de manutentionner tous les éléments de la bouchure en vue des réparations. Chaque passe est fermée par une vanne unique équilibrée : les extrémités de la vanne s'appuient sur la paroi d'enclaves pratiquées dans les piles par l'intermédiaire de trains de galets qui parcourent un chemin moitié moindre que la vanne.

La passerelle supérieure supporte en son milieu un moteur électrique qui entraîne, au moyen d'arbres rigides, les trenils de manœuvre disposés à chaque extrémité sur les piles encadrant la vanne.

L'ensemble du barrage peut, avec quatre ou cinq ouvriers, être amené en peu d'heures de sa position entièrement fermée à la position entièrement ouverte, tandis que la manœuvre complète de l'ancien barrage demandait un jour et demi. Cette possibilité, inutile pour les besoins de la navigation, est précieuse dans les périodes de glace. Elle permet de n'effacer la retenue qu'au dernier moment, lorsqu'il y a crainte d'embâcle. On a été amené, en effet, à arrêter la navigation inutilement et pendant longtemps, lorsqu'on devait s'y prendre à l'avance pour éviter à coup sûr de voir les fermettes attaquées par une embâcle.

Les seuils en maçonnerie et les fondations des piles doivent être exécutés à l'air comprimé à travers des alluvions consistantes, mais affouillables et perméables.

The Elbeuf Barrage on the Seine.

The Elbeuf barrage on the lower part of the Seine, the construction, of which was to be commenced in the month of August, 1914, will be situated about 1300 meters below the old barrage of Martot, which it will replace and the latter be removed (see longitudinal profile on page 85).

This new barrage will be adjacent to the Saint Aubin locks, now two in number, and to which a third is to be added. They are placed on a derivation of the river and cover one of the seven falls between the sea port of Rouen situated on the Seine at about 125 kilometers from the sea and from the port of Paris.

The old barrage dates from 1865-1866 and is of the old type of movable stageing and stakes.

In the region of Elbeuf-Martot, the effect of the sea tide is felt and the fall constantly varies, no longer exists during very strong sea tides, and exceeds 3 meters at the lowest tides.

The present barrage retaining the impounded water at a constant level ($4^m 27$), provides an all over minimum depth of $3^m 20$ allowing boats to go up and down with a draught of 3 meters. Under these conditions, the largest barges afloat can carry 1 200 to 1 300 tons of cargo.

The new barrage will allow of extending the available depth of water to $4^m 50$ and the effective draught of boats to $4^m 50$, so as to allow of the passage of sea lighters and large barges of 2500 tons displacement. There will be a navigable passage 70 meters long in the deepest part of the river bed for trains of boats during floods.

The barrage of the channel is of the overhead bridge design in which all the movable parts are raised above the water to allow of liberating the impounded water. It is, so as to say, a combination of the Poses and Tuilière barrages (see page 118).

The impounding of the water is effected by ten sets of curtains and frames, each running on rollers in the two steel frame uprights, nearly vertical, and braced together so as to form a frame.

The two upright members of each frame are hinged at the upper part on horizontal pins fixed to the lower platform of the steel bridge.

When the barrage is closed, the pressure on the curtains, is transmitted by the frames to the butresses in the masonry sill and to the horizontal girders forming part of the lower platform of the bridge.

The barrage is opened by raising the curtains by winches (one for each frame) which are upon the upper platform of the steel bridge. The roller ways formed by the hanging frames are continued above the lower platform by fixed guides and so arranged that the frames are loged between the two platforms and it is this arrangement which has fixed the dimensions of the steel superstructure. A tramway runs along in front of the

uplifted curtain and a special truck for landing the curtains when repairs are necessary.

Another set of rails is used on the same platform for the winches, which hoist up the hinged frames by steel cables, and when the frames are in a horizontal position, the clear height above the highest navigable water level is 6 meters.

The salient features of the work are as follows.

The curtains are not in one piece, it being feared that, on account of the frames being deflected, the rollers in each pier may not bear on their rails and resulting unequal stress be distributed over the different members of the curtains and frames. Each curtain comprises two superposed frames, the height of each being calculated to support an equal total load; each one is fitted with rollers only in each train so that the efforts are uniformly distributed, and they are also hinged together so as to allow of relatively slight displacement.

The lateral sides of the curtain frames are about $0^{m}35$ apart, this space corresponding to the platform braces between which the curtain frames are to pass. It is proposed to cover these intervening spaces by plates having the form, in horizontal section, of quarter circles and turning on pins fixed at the side of the framed.

The general details are given on the drawing herewith.

The non navigable openings have a uniform width of $31^{m}50$.

Each one is spanned by a steel bridge carrying a set of rails to form the continuation of that over the navigable openings and thus allow of dealing with all the operations in connection with the repairs of the curtains and frames, when required.

Each span is closed by one balanced curtain and frame; the ends of the curtain frame bear against the face of the recesses in the piers on rollers, which have only half the travel of the frames.

In the middle of the upper platform of the bridge, is an electric motor with rigid shafts transmitting power to the hoisting machinery on each end of the piers framing the curtain.

The whole of the curtains and frames can be entirely raised from their closed position in a few hours by four or five workmen and to their absolutely open position, the same work on the old barrages taking a day and a half to accomplish. This work, useless for ordinary navigation, is most necessary when ice is formed. It allows of liberating the water at the latest possible moment when the formation of ice is feared. The useless stopping of traffic for some considerable time could have been avoided by taking the necessary precautions in time to prevent the formation of ice around the curtains and frames.

The construction of the masonry sills and foundations of the piers is to be carried out by compressed air and through beds of firm alluvion but permeable and giving way to the action of water.

La Voie navigable du Havre à Marseille par Paris et Lyon.

La France possède, comme le montre la carte de la page 97, une grande artère de navigation du Havre à Port-Saint-Louis, sur la Méditerranée, qui assure, de Rouen à Lyon, le transport régulier des péniches de 300 tonnes, et qui, dans sa partie centrale, comporte deux voies bien distinctes, l'une par le canal de Bourgogne et Dijon, l'autre par Nevers, c'est-à-dire par le canal de Briare et le canal latéral à la Loire.

La mise au profil réglementaire prescrit par le programme Freycinet (voir page 79) a été réalisée pour la première branche en 1896 et pour la deuxième en 1898. Le trajet par Dijon est plus accidenté, il aborde des altitudes plus élevées (378m 50) dans une région plus froide et comporte, en outre, au bief de partage du canal de Bourgogne, un souterrain de 3300 mètres (souterrain de Pouilly).

La ligne de Nevers ou du Bourbonnais franchit deux faîtes entre la Seine et la Loire (166m 30) et entre la Loire et la Saône (301m 55) sans souterrain ni rétrécissement spécial; elle traverse, de plus, le cœur même du pays et se trouve en relations faciles avec la région de Bourges par le canal du Berry. Le trafic y est d'ailleurs beaucoup plus considérable que sur la branche de Bourgogne, ce qui s'explique par le fait que si elle n'est pas sensiblement plus courte que cette dernière (635 kilom. au lieu de 638), elle n'a que 178 écluses au lieu de 228.

Ainsi qu'on l'a vu plus haut, page 84, afin de rendre Paris accessible au cabotage maritime, le mouillage de 3m 20 sur la Seine canalisée, c'est-à-dire sur 206 kilom., a été obtenu depuis la limite amont de la traversée de la capitale jusqu'à la mer, et on a dépensé dans ce but, depuis 1908 : 95 millions de francs.

En amont de Paris, sur la Haute-Seine, entre Paris et Montereau, on a réalisé sur 98 kilomètres un mouillage de 2 mètres avec douze biefs.

En se dirigeant sur Lyon dans la direction du Bourbonnais, on quitte la Seine canalisée à Saint-Mammès et en poursuivant jusqu'à la Saône, canalisée également, on trouve une série ininterrompue de canaux portés au mouillage de 2m 20 et étroitement soudés entre eux :

1° Les canaux du Loing et de Briare, de la Seine à la Loire;

2° Le canal latéral à la Loire;

3° Le canal du Centre, de la Loire à la Saône.

Le canal du Centre aboutit à Chalon-sur-Saône et, de ce point, à Lyon, par la Saône canalisée; la distance est de 141 kilomètres.

La branche centrale de Bourgogne quitte la Haute-Seine à Montereau, un peu plus en amont que celle du Bourbonnais, en empruntant d'abord l'Yonne canalisée, puis le canal de Bourgogne qui vient rejoindre la Saône un peu en amont de Chalon.

A partir de Lyon jusqu'à Port-Saint-Louis, la voie navigable de la Manche à la Méditerranée est constituée par le Rhône, dont le chenal a

été régularisé et amélioré au moyen de digues basses longitudinales et d'épis. Le courant y reste toujours assez accentué et les eaux agitées y rendent la navigation plus difficile, plus onéreuse et plus aléatoire que sur le reste du parcours. Cette navigation exige, en général, un matériel spécial. Toutefois, de grands progrès ont été réalisés, puisque pendant la saison des basses eaux (trois ou quatre mois) le mouillage ne descend plus au-dessous de 1m 35 de Lyon à Arles, et au-dessous de 2 mètres d'Arles à la mer. Les travaux exécutés depuis 1878, pour obtenir ce résultat, ont atteint 60 millions. Divers projets sont à l'étude, soit pour la continuation de cette amélioration, soit pour la construction d'un canal latéral au Rhône.

Entre Arles et la mer, la navigation fluviale se poursuit soit par le canal d'Arles à Bouc, soit par le Vieux-Rhône, qui aboutit à Port-Saint-Louis et de là à Marseille.

Les trajets maritimes du Havre à Martot et de Port-Saint-Louis à Marseille représentant 198 kilomètres à ajouter au parcours de 1193 ou 1196 kilomètres par rivières et canaux entre Rouen et Saint-Louis, la distance du Havre à Marseille, par Nevers, est donc de 1391 kilomètres et 1394 kilomètres par Dijon. On verra plus loin (page 99) que par le canal de Marseille au Rhône actuellement en construction la distance entre Arles et Marseille sera ramenée de 120 kilomètres à 77 kilomètres, c'est-à-dire réduite de 43 kilomètres, et, par suite, le trajet ci-dessus sera non seulement amélioré mais raccourci d'autant.

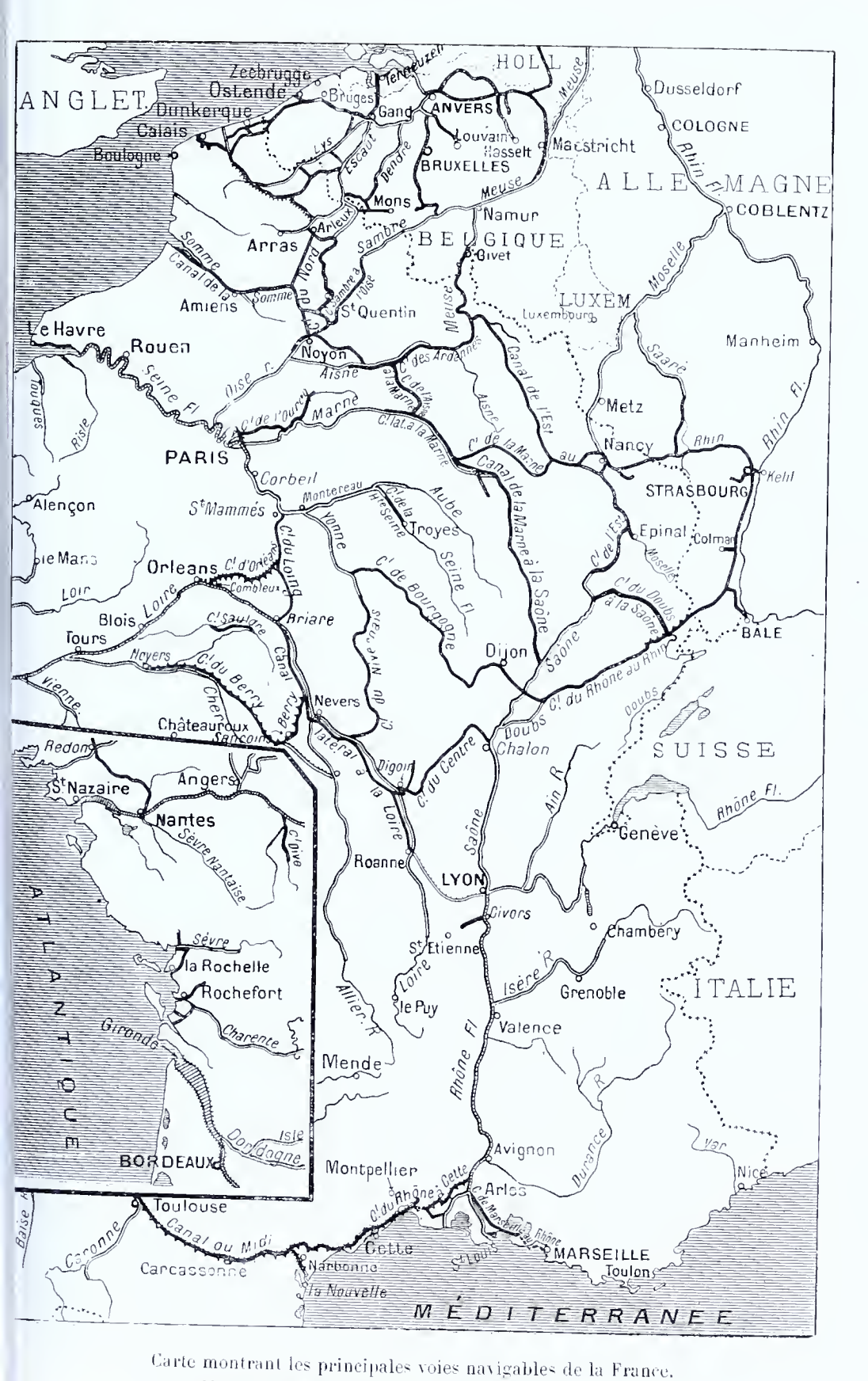
The Navigable Waterway

from Havre to Marseilles via Paris and Lyons.

France possesses, as shown on the map, page 97, a great navigable waterway from Havre to Port-Saint-Louis on the Mediterranean, which provides regular passage, from Rouen to Lyons for boats of 300 tons and which, in its central portion, comprises two distinct waterways, one of which being the canal from Burgundy to Dijon, the other through Nevers, that is, the Briare canal, and the Loire lateral canal.

The regulation profile set out in the Freycinet programme (see page 82) was put into practice for the first length in 1896, and the second length in 1898. The Dijon route is more hilly and reaches higher altitudes (378m 50) in a colder region and, moreover comprises, at the summit reach of the Burgundy canal, a tunnel of 3300 meters (the Pouilly tunnel).

The Nevers part of the canal or of the Bourbonnais region, passes over two ridges between the Seine and the Loire (166m 30) and between the Loire and Saone (301m 55) without any tunnel or special narrowing; it moreover passes through the very heart of the country and finds an easy connection with the region of Bourges by way of the Berry canal. The traffic here is much more considerable than on the Burgundy


ANGLET.
Zeebrugge
Ostende
Dunkerque
Calais
Boulogne
Bruges
Gand
ANVERS
Louvain
Hasselt
Maestricht
BRUXELLES
Mons
Namur
Givet
BELGIQUE
Arras
Arleux
Amiens
St Quentin
Noyon
Le Havre
Rouen
PARIS
Corbeil
Montereau
St Mammés
Alençon
Orleans
Blois
Tours
Briare
Nevers
Châteauroux
Sancoins
Troyes
Dijon
Chalon
Digoin
Roanne
LYON
Givors
St Etienne
le Puy
Mende
Montpellier
Cette
Narbonne
la Nouvelle
Carcassonne
Toulouse
Arles
MARSEILLE
Toulon
Avignon
Valence
Grenoble
Chambery
Genève
Nice
Dusseldorf
COLOGNE
ALLEMAGNE
COBLENTZ
LUXEM
Luxembourg
Manheim
Metz
Nancy
STRASBOURG
Kehl
Epinal
Colmar
BALE
SUISSE
ITALIE
MÉDITERRANEE
Redon
St Nazaire
Angers
Nantes
la Rochelle
Rochefort
BORDEAUX
ATLANTIQUE
Meuse
Escaut
Lys
Somme
Seine Fl
Loire
Cher
Vienne
Loir
Sarthe
Mayenne
Oise
Aisne
Marne
Aube
Yonne
Saône
Rhône Fl
Doubs
Ain R
Isère R
Durance R
Var
Rhin Fl
Moselle
Saare
Canal du Nord
Canal de la Somme
Canal du Midi
Canal de l'Ourcq
Canal de la Marne à la Saône
Canal de l'Est
Canal du Rhône au Rhin
Canal du Centre
Canal du Berry
Canal du Loing
Canal latéral à la Loire
Canal de Bourgogne
Canal de Nivernais
Canal de Cette
Canal de Marseille au Rhône
Canal de Bretagne à la Loire
Canal de Nantes à Brest
Canal de Bretagne à la Manche
Canal de Bretagne à l'Orne
Canal de Bretagne à l'Ouest
Canal de Bretagne à l'Aulne
Canal de Bretagne à la Vilaine
Canal de Bretagne à la Rance
Canal de Bretagne à la Mayenne
Canal de Bretagne à la Sarthe
Canal de Bretagne à la Loire
Canal de Bretagne à la Mer
Canal de Bretagne à la Rance
Canal de Bretagne à la Vilaine

branch, which is explained by the fact that if it is not very much shorter than the latter (635 kilometers instead of 638) it has only 178 locks instead of 228.

As mentioned above, page 86, in order to render Paris accessible to sea coasting vessels, the depth of the Seine channel, that is 3m20, was carried for a distance of 206 kilometers, from above the capital as far as the sea, and to accomplish this, a sum of 95 million francs has been spent since 1908.

Above Paris, on the Haute-Seine, between Paris and Montereau, a depth of 2 meters has been maintained for a distance 98 kilometers, with twelve reaches

On the way to Lyons in the Bourbonnais direction, the channel portion of the Seine to Saint-Mammès, is left behind and in passing through to the Saône, which has also a channel, an uninterrupted series of canals is encountered with a depth of 2m20, and closely connected together :

1. The Loing and Briare, the Seine and Loire Canals ;
2. The Loire lateral Canal ;
3. The Midland Canal and that of the Loire to the Saone.

The Midland Canal ends at Chalon-sur-Saone and, from this place to Lyons, by the channel portion of the Saone, the distance is 141 kilometers.

The central Burgundy canal leaves the Haute-Seine at Montereau, a little higher up than that of the Bourbonnais, first passing through the navigable channel of the Yonne, and after through the Burgundy canal, which joins on to the Saone again a little way above Chalon.

From Lyons to Port-Saint-Louis, the navigable way from the English Channel to the Mediterranean is really a part of the Rhone, the channel of which has been straightened and improved by means of low longitudinal and other dams. There is always a strong current and the water is rough, rendering navigation more difficult, more onerous and aleatory than on the rest of the way. Navigation on this part of the waterway calls for special craft, but great progress has been made, for during the dry season (three or four months) the depth has not been less than 1m33 from Lyons to Arles, and below 2 meters from Arles to the sea. The cost of the work carried out since 1878, with this result in view, has reached 60 millions. Divers projects are being studied for the continuation of these improvements or for the building of a canal by the side of the Rhone.

Between Arles and the sea, fluvial navigation is carried on either through the Arles Canal to Bouc, or through the Vieux-Rhone, which ends at Port-Saint-Louis, and from there to Marseilles.

The maritime channels from Havre to Martot cover a distance of about 198 kilometers to be added to the distance of 1 193 or 1 196 kilometers through rivers and canals between Rouen and Saint-Louis. The distance from Havre to Marseilles, through Nevers, is then 1391 kilometers and 1394 kilometers from Dijon. It will be seen on page 102 that, through the canal from Marseilles to the Rhone, now being built, the distance between Arles and Marseilles will be reduced from 120 to 77 kilometers, that is reduced 43 kilometers, and, consequently, the above waterway will not only be improved but shortened by the distance mentioned.

Canal de Marseille au Rhône.

Le canal de Marseille au Rhône a été déclaré d'utilité publique par une loi du 24 décembre 1903, et sa construction a commencé en 1910.

La longueur totale du canal est de 77 kilom. : il commence au bassin de la Madrague, actuellement en cours d'exécution (voir le plan de la page 101), et longe la mer à l'abri d'une digue en enrochement jusqu'à la pointe de la Lave : un grand bassin, dit bassin de la Lave, terminera cette partie maritime du canal. Il traverse ensuite en ligne droite, par un tunnel de 7 kilom., la chaîne du Rove et débouche à Marignane. Il longe la rive sud de l'étang de Bolmon et de l'étang de Berre jusqu'à Martigues. Il emprunte le canal de Bouc à Martigues, traverse l'étang de Caronte et se confond, à partir de Port-de-Bouc, avec le canal d'Arles à Bouc jusqu'à son point de jonction avec le Rhône, à Arles.

Ce canal présente trois biefs étagés : le bief inférieur ou bief marin, le bief intermédiaire et le bief supérieur, dont la flottaison normale est à une cote voisine de — 3 mètres. Le canal de Marseille au Rhône, au contraire, ne doit avoir qu'un seul bief, un bief « marin », s'étendant de Bouc à Arles avec un plafond horizontal à la cote — $2^{m}50$. Son axe coïncide, en général, avec celui du canal d'Arles à Bouc, de sorte que l'élargissement se fait, de part et d'autre, sur chacune des berges.

L'écluse qui met le canal d'Arles à Bouc en communication avec le Rhône sera reconstruite avec les dimensions utiles suivantes : longueur 160 mètres, largeur 16 mètres. Le dessus du radier sera à 3 mètres en contrebas du niveau de la basse mer.

Le canal de Marseille au Rhône aura 25 mètres de largeur au plafond théorique, c'est-à-dire à 2 mètres d'enfoncement. Le mouillage sera normalement de $2^{m}50$, sauf dans la partie comprise entre Marseille et l'étang de Berre où il sera porté à 3 mètres, le canal étant appelé, dans cette partie, à être fréquenté par des chalands de mer.

Entre Martigues et Port-de-Bouc, la question de l'établissement du canal de Marseille au Rhône s'est compliquée de celle de l'aménagement de l'étang de Berre en port de refuge.

Il existe déjà, entre l'étang de Berre et la rade de Bouc, un canal maritime construit en 1856-1864, mais son tracé est défectueux à la traversée de Martigues et il était nécessaire de le rectifier. Une entente est intervenue à ce sujet entre le Ministère de la Marine, chargé de l'aménagement de l'étang de Berre en port de refuge et le Ministère des Travaux publics : le nouveau canal maritime et le canal de Marseille au Rhône ne feront qu'un entre Martigues et Port-de-Bouc.

La profondeur du nouveau canal sera de 7 mètres et sa largeur de 10 mètres, et ce sont ces deux chiffres qui ont été adoptés pour l'établissement du pont tournant du chemin de fer de Miramas à l'Estaque, décrit à la page 34.

Souterrain du Rove. — Ce souterrain est presque parallèle au tunnel de la Nerthe, de 4633 mètres de longueur, dans lequel passe le chemin de fer de Paris à Marseille. Le souterrain du Rove aura 7 266 mètres de

longueur et 22 mètres de largeur : il sera muni de passerelles en encorbellement de 2 mètres de largeur. La section intérieure de l'ouvrage est représentée sur la figure 1 de la page 103, sur laquelle on voit en même temps la section des plus grands tunnels exécutés en France jusqu'à ce jour.

Les travaux du souterrain du Rove ont été commencés en 1910 et s'exécutent d'après la méthode proposée par l'adjudicataire, M. Léon Chagnaud, dont la figure 2 de la page 103 montre les phases successives : on exécute d'abord les terrassements de la couronne, c'est-à-dire ceux qui sont strictement nécessaires pour qu'on puisse construire la voûte du niveau des naissances (cote + 1m50) jusqu'à la clef : la voûte faite, on poursuit le déblaiement jusqu'au niveau des naissances, après quoi il ne reste à entreprendre que les travaux de la cuvette et des plates-formes de halage.

Pour le déblaiement de la couronne, on perce successivement trois galeries, à savoir deux galeries latérales et une galerie de faîte. Chacune des galeries latérales, 1 et 2, a sa sole au niveau des plates-formes de halage, et sa section transversale mesure de 7 à 9 mètres carrés. Celle de droite est, à proprement parler, la galerie d'avancement et de direction ; elle progresse avec une courte avance sur celle de gauche : entre les deux sont immédiatement établies des communications transversales espacées de 100 mètres qui servent à la fois pour l'aérage, pour la direction de la galerie de gauche, pour des installations d'épuisements, pour des dépôts d'outils, d'explosifs, etc.

En partant du ciel des galeries latérales, on crense vers le haut des cheminées inclinées, espacées entre elles de 18 mètres, qui aboutissent de part et d'autre de la sole de la galerie de faîte, 3 et 4, à la cote + 10 mètres. Ces cheminées servent à l'évacuation des déblais de la galerie de faîte, c'est-dire qu'elles précèdent l'ouverture de cette galerie ; on y jette à la pelle les déblais qui tombent dans les wagons, d'une capacité de 3 mètres cubes, disposés pour cela au pied des cheminées, dans les galeries latérales.

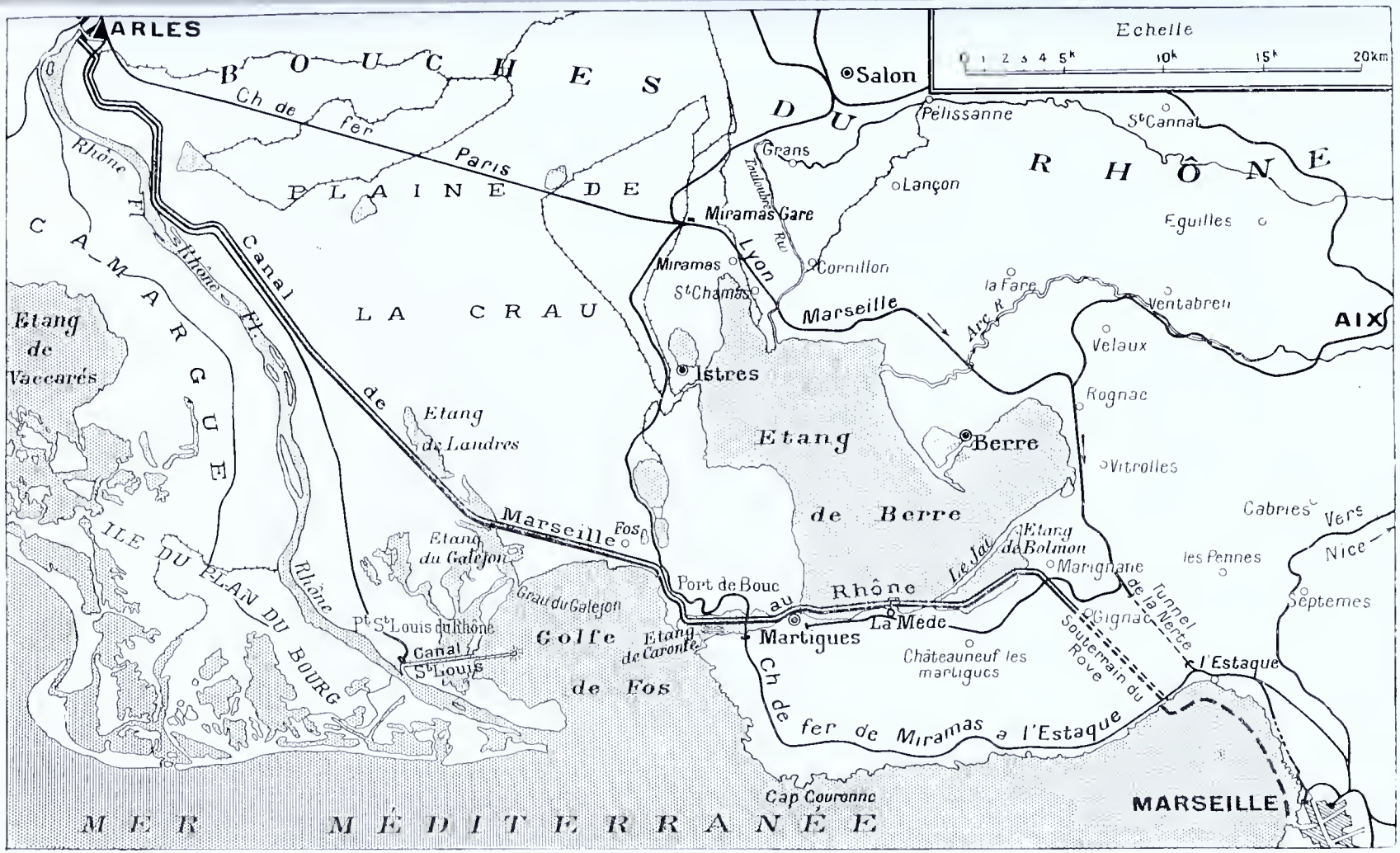
La galerie de faîte, 3, est ouverte à faible section, 4 mètres carrés environ. On l'élargit de part et d'autre, en 4, et l'on déblaie en profondeur jusqu'à la cote + 8 mètres sur toute la largeur ainsi obtenue, 5 ; puis on procède aux grands abatages du stross, 6.

Les dépenses de construction du canal de Marseille au Rhône sont évaluées à 90 millions de francs, en chiffres ronds, dont 35 millions seront payés par l'État, un peu plus de 13 millions par la ville de Marseille et le département des Bouches-du-Rhône, et le restant, soit environ 40 millions, par la Chambre de commerce de Marseille.

Pour faire face à ces dépenses, la Chambre de commerce de Marseille a été autorisée à percevoir :

1° Un droit de 0 fr. 10 par tonneau de jauge sur tous les navires français et étrangers étant chargés ou venant prendre charge dans le port de Marseille ;

2° Un droit de 0 fr. 10 par tonne métrique de marchandises en vrac, ou par colis pour les marchandises en futailles, caisses, sacs ou autres emballages, ou par tête pour les animaux vivants ou abattus.



Plan d'ensemble du canal de Marseille au Rhône.

Map of the Marseilles to Rhone Canal.

The Marseilles to the Rhone Canal.

The canal from Marseilles to the Rhone was declared to be of public utility by the law of 24th December 1903, and its construction was commenced in 1910.

The total length of the canal is 77 kilometers, and it commences at the Madrague basin, now being constructed (see plan, page 101) and is continued along the side of the sea, being sheltered by a bank of enrockment to the Lave point: a large basin called "bassin de la Lave" finishing the maritime part of the canal.

It afterwards crosses, in a straight line, the chain of Rove, through a tunnel of 7 kilometers and comes out at Marignane. It passes alongside the "étang de Bolmon" and the "étang de Berre" (small inland seas) as far as Martigues, and afterwards joins the canal from Bouc to Martigues, crosses the "étang de Caronte", and after, from Port-de-Bouc, forms part of the canal from Arles to Bouc, as far as its junction with the Rhone at Arles.

There are three falls in the canal, the lower or sea reach, the intermediary reach and the upper reach, of which the usual level is about + 3 meters. The Marseilles to the Rhone canal is to have only one reach, a "sea" reach, stretching from Bouc to Arles, with a floor on the — 2m 50 level. Its centre coincides, generally, with that of the canal from Arles to Bouc, so that the increase of width is made equal on both banks.

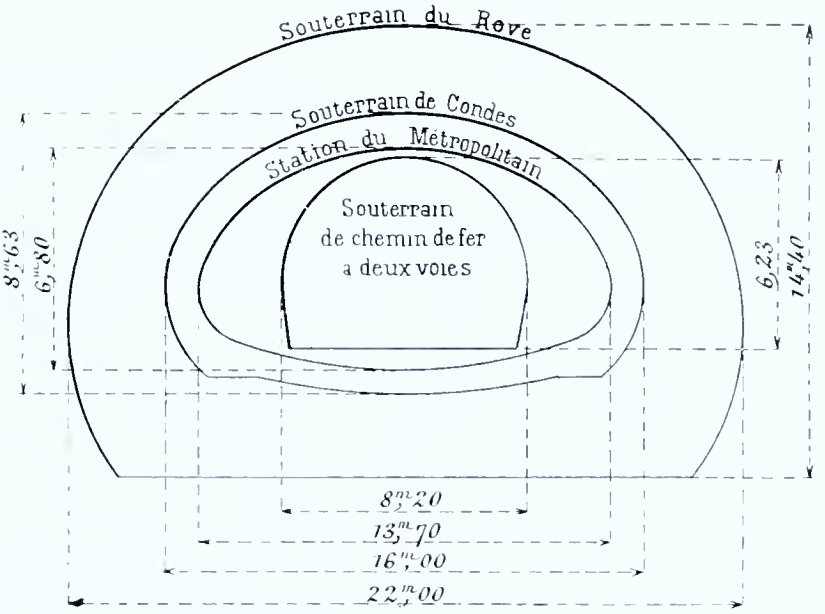
The lock which places the canal from Arles to Bouc in communication with the Rhone will be reconstructed with the following useful dimensions: length 160 meters, width 16 meters. The top of the floor will be at 3 meters below the low sea level.

The canal from Marseilles to the Rhone will be 25 meters wide on the floor bottom, that is, at a depth of 2 meters. The normal depth proper will be 2m 50, except in the length between Marseilles and the "étang de Berre", where it will be carried down to 3 meters, the canal in this locality being called upon to provide accommodation for sea going barges.

Between Martigues and Port-de-Bouc, the question of building a canal for Marseilles to the Rhone has been complicated by that of making the "étang de Berre" a port of shelter.

There already exists between the "étang-de-Berre" and the Bouc roads, a maritime canal built in 1856-1864, but its laying out was defective at the crossing of Martigues, and it was necessary to rectify this. An understanding was arrived at upon this subject between the Minister of the Marine, entrusted with the "étang de Berre" port of shelter arrangement, and the Minister of Public Works: the new maritime canal and that from Marseilles to the Rhone will form one between Martigues and Port-de-Bouc.

The depth of the canal will be 7 meters and its width 40 meters, and



Profils comparatifs de divers souterrains avec celui du Rove, sur le canal de Marseille au Rhône.

Comparative sections of the Rove Tunnel and other French tunnels, on the Marseilles to the Rhone canal.

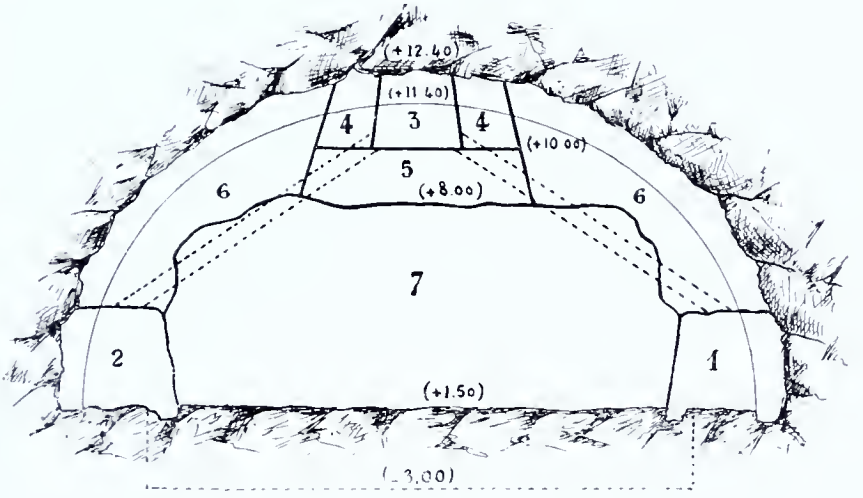


Schéma du percement du souterrain du Rove.

Sketch of driving the Rove Tunnel.

it is these two dimensions which have been adopted for the building of the swing bridge for the railway from Miramas to l'Estaque, described on page 34.

The Rove Tunnel. — This underground passage will be nearly parallel to the Nerthe tunnel 4633 meters long, through which the railway from Paris to Marseilles passes. The Rove tunnel will be 7266 meters long and 22 meters wide and will have a projecting tow path of 2 meters width. The cross section is shown on figure 1 of page 103, upon which is figured also the section of the largest tunnels built in France up to the present.

The building of the Rove tunnel was commenced in 1910 and carried out according to the method proposed by the contractor, Mr Leon Chagnaud, figure 2, on page 103, showing the successive phases. The excavations for the crown of the arch being first made, that is to say, those strictly necessary to allow of constructing the arch from the springings (level + 1m 50) upward to the keystone, and once the arch completed, the excavations are continued as far as the springings, after which there remains the work of cutting the canal proper and of the tow paths.

For the excavation work, three galleries are cut successively, that is, two side galleries and a top gallery. Each of the side galleries, 1 and 2, has its sole at the floor level of the tow paths, and its cross section is from 7 to 9 square meters. The one on the right is properly speaking, the forward working and directing gallery, and is pushed forward somewhat in front of the left one, and between these two, transverse connections are immediately established, 100 meters apart, which serve both for ventilating, for the direction of the left gallery, for pumping plant and as tool and explosives store, etc.

Commencing at the roof of the side galleries, inclined shafts are cut at a distance of 18 meters from each other, which end on both sides at the sole of the upper gallery 3 and 4 at the + 10 meters level. These shafts are used for taking out the excavated matter from the upper gallery, that is to say they are carried forward in front of the gallery and the excavated matter is shovelled in and falls into trucks of 3 cubic meters capacity, arranged for that purpose at the foot of the shafts, in the side gallery.

The top gallery, 3, is of small section, about 4 square meters, it is enlarged on both sides, 4, and downward excavations are made at the level + 8 throughout the whole width thus obtained, 5, and the whole remainder, 6, is then cut away.

The cost of building the Marseilles to the Rhone canal is estimated at 90 million francs, in round figures, of which 35 millions are to be paid by the State, slightly more than 13 millions by the town of Marseilles and the "Bouches-du-Rhone" district, and the rest, namely, about 40 millions, by the Marseilles Chamber of Commerce.

To cover these expenses, the Marseilles Chamber of Commerce was authorised to charge :

1 A duty of 0 fr. 10 per ton of displacement on all French or foreign ships unloading or loading in Marseilles.

2 A duty of 0 fr. 10 per metric ton of loose merchandise, or in casks, cases, sacks or other packing, or per head of live or slaughtered cattle.

Canal de la Marne à la Saône.

Le canal de la Marne à la Saône, de 225 kilom. de longueur, a été achevé en 1907. C'est principalement une jonction remarquablement directe entre le réseau des canaux du Nord et la voie navigable très importante que doit devenir la Saône. On peut dire aussi que c'est le dernier tronçon exécuté d'une voie considérable (1 139 kilom.) de navigation au long cours, depuis Dunkerque jusqu'à Lyon (voir page 97).

Déjà, avant le canal de la Marne à la Saône, le réseau des canaux du Nord semblait être rattaché à la Saône par les canaux de la Marne au Rhin et de l'Est, en passant par Bar-le-Duc et Nancy. Mais ce trajet constituait un détour considérable que le nouveau canal raccourcit de 178 kilom.; en outre, si on assimile, comme il est d'usage, une écluse à 1 kilom., le raccourcissement équivaut à 270 kilom. Il correspond à une économie de douze jours de marche. L'avantage est notable, mais ce qui l'est encore beaucoup plus, c'est que l'organisation de la navigation et surtout de la traction des bateaux, qui aurait été extrêmement difficile par la grande boucle d'Épinal, et qui n'a d'ailleurs jamais été essayée, a été beaucoup plus facile sur la voie nouvelle.

Tracé et profils. — De son point de départ sur la Marne, à Vitry-le-François, au bief de partage, près de Langres, le canal remonte la vallée de la Marne sur 152 kilom., en s'élevant de 239m 12 au moyen de 71 écluses. Le plateau de Langres est franchi à l'altitude de 340m 55, au moyen d'un souterrain de 4 820 mètres de longueur ouvert dans les marnes du Lias, et le canal redescend ensuite la vallée de la Vingeanne (affluent de la Saône) sur 62 kilom. et rachète une différence de niveau de 255m 85 au moyen de 43 écluses.

Le canal est naturellement établi suivant les plans et profils-types adoptés en 1878, lors de l'élaboration du plan Freycinet pour les lignes de navigation principales, et dont nous avons parlé page 79.

La plus grosse difficulté rencontrée dans la construction du canal a consisté dans la création de réserves d'eau assez puissantes pour l'alimentation. On a craint un moment, et très sérieusement, une véritable impossibilité.

Dans cette région, la Marne, qui prend sa source à 2 kilom. à peine du bief de partage, a un régime torrentiel sur au moins 80 kilom., et la Vingeanne a le même régime sur toute sa longueur. Ces deux rivières ne fournissent donc en été, dans la partie haute des vallées, qu'un débit absolument insuffisant pour alimenter un canal de cette longueur.

Il a donc fallu créer, dans les vallées secondaires, aux abords du plateau de Langres, de grands réservoirs pour accumuler les eaux de crue d'hiver, notamment celles provenant de la fonte des neiges. On recueille

ainsi environ 40 millions de mètres cubes d'eau employés pour l'alimentation du canal de mai à novembre; les cours d'eau suffisent pour l'alimenter de novembre à mai.

Les réservoirs ainsi créés sont au nombre de quatre, dont trois constitués au moyen de digues en terre corroyée, dont la hauteur varie de 13 à 22 mètres, ceux de la Liez, de Charmes et de la Vingeanne, dit aussi de Villegusien, et le quatrième par un barrage en maçonnerie de 22 mètres de hauteur, celui de la Mouche.

Pour assurer une transmission régulière, ce qui est la meilleure façon de réaliser des économies d'eau, les écluses ont été munies de deux appareils très ingénieux : un alimentateur automatique commandé par le bief d'aval et un déversoir circulaire réglant le bief d'amont.

Souterrain. — Le grand souterrain du bief de partage, à Balesmes, a 4820 mètres de longueur. C'est un des trois plus longs tunnels existant en France sur des canaux : celui du canal de Saint-Quentin n'en diffère que de quelques mètres; celui de Mauvages (canal de la Marne au Rhin) a 4877 mètres. Le tunnel du canal de Marseille, décrit page 99 de cette notice, dépassera d'ailleurs de beaucoup cette importance puisque, outre sa section beaucoup plus grande, il aura une longueur de 7 260 mètres.

Le tunnel de Balesmes a coûté 12800000 francs, soit 2490 francs au mètre courant, y compris la passerelle de halage reposant sur des colonnes en fonte, de façon à ne pas réduire la section mouillée.

La navigation se fait dans le souterrain comme dans une partie de canal à ciel ouvert, sauf que le croisement des bateaux étant impossible, un pilotage est imposé dans des conditions analogues à celles des chemins de fer.

Le souterrain de Condes n'a que 307m 75 de longueur, mais il est remarquable par sa largeur de 16 mètres, qui permet la libre circulation des bateaux comme en plein air.

Le gabarit de la voûte est semi-elliptique, et son épaisseur, de 1 mètre à la clef, augmente jusqu'à atteindre 1m 50 aux naissances. Aux extrémités du souterrain, l'épaisseur est même portée à 2m 50.

Ce souterrain a coûté 1020000 francs, soit 3133 francs par mètre courant.

Dépenses de construction du canal. — La dépense de construction du canal s'élève à 104 millions, tout compris, pour 225 kilom. Les dépenses nécessitées par l'alimentation se sont élevées à 17 millions (terrains compris). Celles du souterrain et des grandes tranchées aux abords à 15 millions. En mettant à part ces dépenses spéciales, la dépense de construction de 1 kilom. de canal a été de 320000 francs.

The Canal from the Marne to the Saone.

The canal from the Marne to the Saone, length of which is 225 kilometers, was finished in 1907.

Its principal point of interest is a remarkably direct junction between the network of canals in the North and the navigable waterway which the Saone is destined to become. It can also be said that it is the last length completed of a considerable long distance navigable waterway (1 139 kilometers) from Dunkirk to Lyons (see page 97).

Before the canal from the Marne to the Saone existed, the network of canals in the North seemed already connected to the Saone by canals from the Marne to the Rhine and to the East, passing through Bar-le-Duc and Nancy. But this line of direction caused a considerable deviation which the new canal shortened by 178 kilometers. If it is also taken into consideration, as usually admitted, that a lock equals one kilometer, the shortening equals 270 kilometers and corresponds to a journey of twelve days. The advantage is notable, but that which is more so is the navigational organisation and, above all, the boat haulage, which would have been extremely difficult by the great detour round Epinal, which, moreover, has never been attempted and which has been much easier by the new waterway.

Laying out and profiles. — From its starting point on the Marne, at Vitry-le-François, to the dividing reach near Langres, the canal rises through the Marne valley for 152 kilometers, to a height 239.42 meters, by means of 71 locks. The Langres plateau is cleared at an altitude of 340.55 meters, through a tunnel in Lias marne, and redescends for 62 kilometers towards the valley of the Vingeanne (affluent of the Saone) and recovers 255.85 meters difference of level through 43 locks.

The canal is naturally laid out according to plans and standard profiles adopted in 1878 when the Freycinet scheme was elaborated for the principal lines of navigation, and of which we have spoken on page 82.

The greatest difficulty encountered in the construction of the canal was that of providing a suffisant reserve of water for its requirements. It was feared at one time, and very seriously, that it was absolutely impossible.

In this district, the Marne, which rises at scarcely 2 kilometers from the dividing reach, has an irregular flow in the nature of a mountain stream for at least 80 kilometers, and the Vingeanne has the same irregular flow throughout its whole length. These two rivers provide but an insufficient quantity of water in the summer from the upper part of the valleys for supplying a canal of this length.

It was therefore necessary, in the secondary valleys, near the Langres

plateau, to create large reservoirs of flood water, especially that arising from the melting of snow. Forty millions cubic meters of water are thus obtained for supplying the canal, from May to November, the other sources sufficing from November to May.

The reservoirs thus provided are four in number, of which three are formed by means of earth dams, the soil being rammed, the height of which varies between 13 and 22 meters, the Liez, Charmes and Vingeanne, also called the Villegusien, and the fourth by a masonry dam 22 meters high, that of the Monche.

In order to ensure a regular supply, which is the best way of realising the saving of water, the locks are provided with two ingenious devices : and automatic supply regulator controlled by the lower reach and a circular weir to regulate the upper reach.

Tunnel. — The great tunnel of the dividing reach at Balesmes, is 4 820 meters long. It is one of the three longest existing canal tunnels in France; that of the Saint Quentin canal only differing by a few meters; that of Mauvages (canal from the Marne to the Rhine) having a length of 4 877 meters. The Marseilles canal tunnel, described on page 102 of this pamphlet, will be much longer, for outside its much larger sectional dimensions, its length will be 7 260 meters.

The Balesmes tunnel cost 12 800 000 francs, or 2 490 francs per linear meter including the tow path supported on cast iron columns in order not to diminish the wetted perimeter.

Navigation in the tunnel is precisely the same as in the open, excepting that of boats passing each other being impossible, a system similar to that used on one track railways and tunnels is adopted.

The Condes tunnel has a length of 307,75 meters only, but is most remarkable for its width of 16 meters, which allows the free passage of boats as in the open. The arch is semi-elliptic, its thickness or depth at the keystone being 1 meter and increasing to 1,50 meter at the springings. At the extremity of the tunnel this thickness is increased to 2,50 meters.

The cost of the tunnel 1 020 000 francs, or 3 133 francs per linear meter.

Cost of constructing the canal. — The cost of constructing the canal is 104 millions of francs, inclusive of everything, for 225 kilometers. The cost of supplying the water necessary is 17 millions francs (land included). In leaving out these special expenses, the cost of constructing 1 kilometer of the canal has been 320 000 francs.

Canal du Nord.

La création du canal du Nord a été décidée par la loi du 23 décembre 1903 et il est, depuis 1907, en cours d'exécution. Il aura pour effet d'assurer à la batellerie une économie de parcours de plus de 42 kilom. sur celui de la voie actuelle, économie qui se traduit par trois journées de marche d'un bateau.

Ce canal se détache du canal de la Sensée (bassin de l'Escaut), à Arleux (voir la carte de la page 97) et aboutit au canal de l'Oise, à Noyon.

Il franchit, d'abord, sept biefs et autant d'écluses, de 6m 50 de chute, pour atteindre le bief de partage où il traverse, en un souterrain de 4330 mètres de longueur, près de Ruyaulcourt, le faite de partage des vallées de l'Escaut et de la Somme. Il descend vers cette dernière rivière par quatre biefs et cinq écluses, de 6m 54 de chute, jusqu'au bief bas commun à la 1re et à la 2e section, remonte ensuite, par deux biefs et trois écluses, dont les deux premières de 3m 30 et l'autre de 5m 81 de chute, à un second bief de partage où il traverse, en un souterrain de 1 100 mètres de longueur, près de Libermont, la crête de partage des vallées de la Somme et de l'Oise. Il redescend enfin en traversant quatre biefs et quatre écluses, de 5m 81 de chute, pour se raccorder au canal de l'Oise, à Noyon.

La nouvelle voie aura une longueur totale de 95 kilom. Elle part de l'altitude 34.34 (canal de la Sensée), pour se terminer à l'altitude 36.31 (canal de l'Oise), en passant par les altitudes intermédiaires 79.84; 47.14 et 59,55.

Les écluses ont un sas, double en longueur, permettant l'éclusage simultané de deux bateaux. Au milieu de sa longueur, une chambre de porte a été ménagée pour la pose éventuelle d'une porte intermédiaire permettant l'éclusage d'un seul bateau. La longueur totale entre les têtes des écluses est de 109m 60, dont 85 mètres pour le sas proprement dit. La largeur est de 6 mètres.

Chaque bajoyer a la forme d'un rectangle de 10 mètres de hauteur et de 5m 25 de largeur, évidé à la partie supérieure sur 3m 50 de hauteur et percé à la partie inférieure d'aqueducs longitudinaux de 2m 25 de largeur et 2m 25 de hauteur sous clef, et de larrons pour le remplissage et la vidange du sas. Sous la chambre des portes d'amont, les aqueducs longitudinaux sont réunis par un aqueduc transversal de 2 mètres de largeur et 2 mètres de hauteur sous clef.

Chaque écluse est pourvue de quatre vannes cylindriques basses, de 2m 50 de diamètre, dont deux à l'amont et deux à l'aval, et possède un bassin d'épargne de 68 mètres de longueur sur 21 mètres de largeur.

En déblai terreux, le plafond du canal a une largeur de 10 mètres; en déblai crayeux, de 12 mètres, et en tranchée profonde, de 13m 40 sous 2m 75 d'eau. L'étanchéité est assurée par des corrois, dont l'épaisseur atteint 1 mètre sous plafond. Des noyaux corroyés dans les digues assurent l'étanchéité de la cuvette. La largeur du chemin de halage est de 5 mètres en déblai et de 6 mètres en remblai.

The Northern Canal.

The construction of the Northern Canal was passed by law on the 23th December 1903 and the work is now being carried out. It will be used to provide a saving in distance for the boats of more than 42 kilometers than by travel over the present waterway, saving which corresponds to three days journey by boat.

This canal branches off from that of the Sensée (the Escaut basin) at Arleux (see map on page 97) and connects on to the Oise Canal at Noyon.

It goes through seven reaches at first and the same number of locks of 6m 50 fall, coming to the summit or dividing reach which it crosses by a tunnel of which the length is 4350 meters, near Ruyaulcourt, the dividing ridge of the Escaut and Somme valleys and falls towards the latter river, through 4 reaches and five locks of 6m 54 fall, down to the common reach in the first and second section, rises again through two reaches and three locks, the first, two of 3m 50 and the other of 5m 81 fall, to a second dividing reach, which it crosses by a tunnel 1 400 meters long, near Libremont, the dividing ridge between the Somme and the Oise. It again falls through four reaches and four locks of 5m 81 to join the Oise canal at Noyon.

The new waterway will be of a total length of 95 kilometers. It commences at an altitude of 34m 34 (Canal de la Sensée) and ends at an altitude of 36m 31 (Canal de l'Oise) on its way through the intermediary altitudes of 79m 84, 47m 14 and 59m 55.

The locks are of the single type, but of double length to allow of locking two boats at a time. Arrangements have been made for placing another lock gate half way between the two end ones so as to allow of locking one boat at a time. The total length between the heads of the locks is 109m 60 of which 85 meters for the lock proper, the width of same being 6 meters.

Each lock wall is of rectangular form, 10 meters high and 5m 25 wide, and hollowed out at the upper part to a height of 3m 50 and traversed by longitudinal culverts of 2m 25 width and 2m 35 height to arch centre, and with circular apertures in the floor for equalising the filling and emptying of the lock. Under the upper gate chamber, the longitudinal culverts are connected by a traversal one of 2 meters height under arch centre.

Each lock is provided with four low cylindrical sluice valves of 2m 50 diameter, of which two at the back and two at the front and is provided with a storage pond or chamber 68 meters long and 21 meters wide. In excavated soil, the floor of the canal is 10 meters wide, the width of same when in chalky strata is 12 meters and in deep excavations 13m 40 under 2m 75 of water. To prevent leakage puddling is used, the thickness of same being as much as 1 meter for the bottom. Puddled cores in the embankments prevent leakage.

The width of the tow path is 5 meters when the channel is excavated and 6 meters on embankments.

Ascenseur hydraulique des Fontinettes.

Le canal de Neuffossé réunit la Lys et le canal d'Aire à l'Aa. Il met les ports de Dunkerque, Gravelines et Calais en communication avec le réseau de navigation intérieure et il donne lieu à un trafic très intense. Il comprend à Arques, près de Saint-Omer, l'écluse des Fontinettes qui se compose de cinq sas superposés rachetant une chute de 13m 13.

Cette écluse étant devenue insuffisante, l'Administration a prescrit, en 1881, la construction à côté de l'écluse, d'un ascenseur hydraulique pour bateaux de 300 tonnes, analogue à celui qui fonctionnait en Angleterre, à Anderton, sur le canal de Trent et Mersey, mais pour des bateaux dont le chargement ne dépasse pas 80 à 100 tonnes.

L'ascenseur proprement dit se compose de deux caissons ou sas métalliques renfermant de l'eau et dans lesquels flottent les bateaux. Chaque sas est fixé sur la tête d'un piston unique de 17m 16 de longueur qui plonge dans un cylindre de presse hydraulique installé au centre d'un puits. Les deux presses communiquent au moyen d'une conduite munie d'une vanne qui permet de les isoler à volonté.

On a ainsi une véritable balance hydraulique, et il suffit que l'un des caissons ait reçu une certaine surcharge d'eau pour que, cette vanne étant ouverte, il s'abaisse en produisant l'ascension de l'autre.

Chaque sas mobile a une longueur utile de 39m 50 et se compose de deux poutres espacées de 5m 60 d'axe en axe : dans leurs mouvements, les sas sont guidés à l'amont et au centre. Les guides du centre, qui sont les plus importants, prennent leurs points d'appui sur trois tours carrées en maçonnerie. C'est au sommet de la tour centrale qu'est construite la chambre d'où le chef de manœuvre ouvre et ferme la vanne de communication et les distributeurs des grandes presses.

Les tours latérales contiennent des réservoirs cylindriques en tôle, dits compensateurs, pouvant être mis en communication avec le sas correspondant, mais qui, en pratique, ne sont pas utilisés.

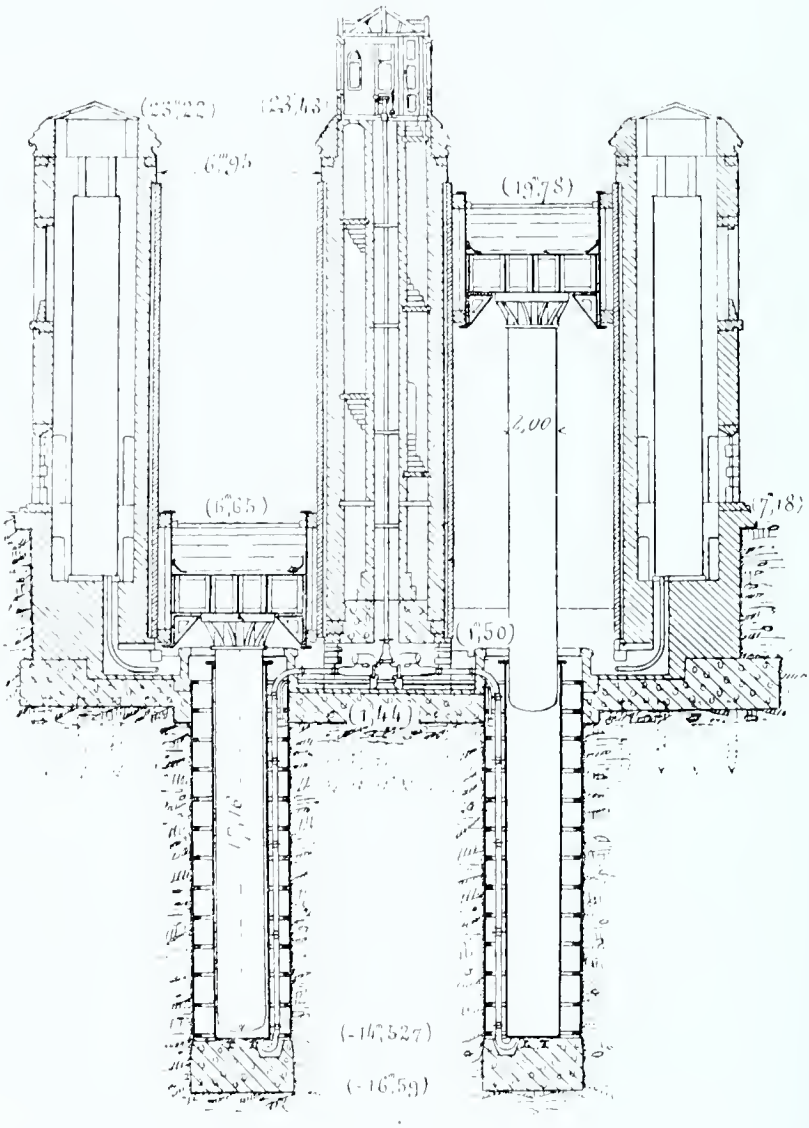
Aux extrémités du sas se trouvent des appareils hydrauliques pour le soulèvement des portes, qui sont d'ailleurs en grande partie équilibrées par des contre-poids.

La machinerie comprend deux turbines, mises en mouvement par l'eau du bief supérieur, dont l'une actionne quatre pompes de compression à double effet, qui mettent en charge un accumulateur de 1 200 litres de capacité et dont l'autre commande un compresseur d'air pour le gonflement des poches formant joints.

Le poids à élever, comprenant un piston, un sas, l'eau et le bateau qu'il peut contenir, atteint à peu près 800 tonnes. La pression dans les grandes presses est alors de 25 atmosphères environ.

La force qui produit le mouvement (environ 106 tonnes) diminue progressivement, parce que l'eau de la première presse passe peu à peu dans la seconde et les sas arrivent à la fin de leur course avec une vitesse presque nulle.

La durée totale d'une manœuvre est en moyenne de 20 minutes.



Coupe transversale sur l'ascenseur des Fontinettes.

Cross section of Fontinettes Lift.

The Fontinettes Hydraulic Lift Lock.

The Neuffossé canal connects the Lys and the Aire to Aa canal. It joins the ports of Dunkerque, Gravelines and Calais to the inland lines of navigation and is productive of an immense traffic. It includes, at Arques, near Saint Omer, the Fontinettes lock, which comprises five lock chambers covering 13m 13 difference of level.

This lock was no longer sufficient and it was decided in 1889 to construct, at the side of it, a hydraulic lift for 300 tons boats like that which was working in England, at Anderton, on the Trent and Mersey canal, but for boats of which the load does not exceeded 80 to 100 tons.

The lift, properly speaking, comprises two chambers or caissons containing the water in which the boats float. Each chamber is fixed to the head of the ram or plunger of 17m 16 length which works in a hydraulic press cylinder placed in the centre of a well. The two cylinders communicate with each other by means of a pipe fitted with a gate valve which allows of isolating to suit requirements.

We have really thus a pair of hydraulic scales and it suffices for one of the chambers to have received an overload of water, the gate-valve being opened, to descend and cause the other to rise.

Each movable chamber has a useful length of 39m 50, and comprises two girders 5m 60 apart, from centre to centre, and the chambers are guided, when moving, at the front and in the centre. The centre guides, which are the most important, are carried by three square masonry towers. The man controlling the opening and shutting of the connecting gate valve and distributors of the great lifts, is lodged in a room on the top of the central tower.

The side towers contain cylindrical sheet iron reservoirs called compensators, which can be put in communication with the corresponding lift lock chamber, but which, in practice, are not used.

At the end of each lock chamber is situated hydraulic gear for lifting the gates, the greater part of which is balanced by counterweights.

The machinery comprises two turbines which are operated by the water of the upper reach, one of which supplies power to the double acting pressure pumps which raise an accumulator of 1 200 litres capacity, the other dealing with an air compressor for inflating the pockets which form the packings.

The weight to be lifted, including one piston, the lift lock chamber, ther water and the boat therein, is about 800 tons. There is then a pressure in the ram cylinders of about 25 atmospheres.

The power producing the displacement (about 106 tons) decreases progressively, because the water from the first ram cylinder passes by degrees into the second, and, at the end of the stroke, with a speed practically nil.

The total time taken to accomplish the whole operation is, upon an average, 20 minutes.

Écluses du canal Saint-Denis, à Paris.

Le canal de Saint-Denis forme, avec le canal Saint-Martin, une voie navigable ininterrompue qui traverse Paris et coupe la boucle de la Seine dans laquelle se trouve cette ville, réduisant ainsi considérablement le trajet des bateaux qui vont de l'aval à l'amont de la capitale ou *vice versa*. En fait, ces deux canaux servent surtout d'accès au bassin de la Villette, situé à l'intérieur des fortifications et qui constitue leur bief de partage commun. Le canal Saint-Denis y aboutit après un parcours de 6650 mètres depuis son origine sur la Seine, un peu en aval de la ville de ce nom. Le canal Saint-Martin part de ce bassin pour aller, après un parcours de 4540 mètres, rejoindre cette rivière à l'endroit où elle se sépare en deux bras pour former l'île Saint-Louis.

Le canal Saint-Denis a été très sensiblement amélioré de 1884 à 1889 par la modification de son profil et la construction de nouvelles écluses. Sa profondeur a été portée à $3^m 20$, comme celle de la Seine canalisée entre Rouen et Paris, et sa largeur a été augmentée jusqu'à 15 mètres. En même temps, le bassin de la Villette a été également approfondi jusqu'à $3^m 20$ et des magasins ont été créés sur une longueur de 800 mètres.

En vue de diminuer le nombre de biefs, on a été conduit à donner au groupe des écluses de tête une chute exceptionnelle, de $9^m 92$, très remarquable pour l'époque, et dont la hauteur n'a été dépassée depuis que par celle des écluses du canal de Panama.

Ces écluses sont jumelles: l'un des sas mesure $38^m 85$ de longueur utile et $5^m 20$ de largeur, l'autre $48^m 90$ de longueur utile et $8^m 20$ de largeur. Le terre-plein qui les sépare offre $29^m 10$ de largeur. Le mouillage sur les bords est de $3^m 50$. En raison de la grande hauteur des bajoyers, les murs de faîte d'aval ont été réunis par un masque en maçonnerie laissant un tirant d'air de $5^m 25$.

Le bajoyer de rive a été évidé à sa partie supérieure. Au-dessus du niveau du bief d'aval il présente en section horizontale la forme d'un viaduc voûté renversé. On a pu ainsi réduire l'épaisseur des maçonneries à la base, en reportant directement sur les terres une partie notable des pressions horizontales (disposition nécessitée par le voisinage immédiat de maisons).

Un double bassin d'épargne permet d'économiser une partie importante de l'eau des écluses.

Les portes sont formées d'un vantail unique à axe de rotation vertical. Elles sont manœuvrées mécaniquement et l'énergie nécessaire est fournie directement aux arbres et appareils de manœuvre par une turbine hydraulique mue par la chute.

Le remplissage et la vidange des sas se font par des vannes cylindriques dont le système, inauguré en 1887 dans les écluses à grande chute ($5^m 20$) du canal du Centre, a depuis été adopté un peu partout, notamment au canal de Panama.

The Saint Denis Canal Locks.

The Saint Denis canal and the Saint Martin canal form a navigable waterway which traverses Paris and cuts through the reach of the Seine around the city, thus providing a considerably shorter course for their up and down passage through the capital. These two canals serve, above all, as an entry to the Villette bassin, situated inside the fortifications and forming their common reach. The Saint Denis canal ends there after a stretch of 6 650 meters, from its point of departure on the Seine a little below the above town. The Saint Martin canal starts from this bassin to again enter this river after a distance of 4 540 meters at the point where it divides out into two branches forming the island of Saint Louis.

The Saint Denis canal was very much improved from 1884 to 1889 by its profile being modified and the building of new locks. Its depth was increased to 3^{m} 20 corresponding to that of the channel cut through the Seine between Rouen and Paris, and the width increased to 15 meters. At the same time, the depth of the Villette basin was likewise increased to 3^{m} 20 and warehouses erected along a front of 800 meters.

In order to decrease the number of reaches, it was found necessary to provide an exceptional fall of 9^{m} 92 for the head flight of locks, most remarkable at that period, and which height has only since been exceeded by that of the Panama Canal Locks.

These locks are in pairs, one of the lock chambers having a length of 38^{m} 85 and a width of 5^{m} 20, the other a useful length of 48^{m} 90 and a width 8^{m} 20. The width of intervening masonry and soil is 29^{m} 10. The wetted height of sides is 3^{m} 50. On account of the height of the side walls, the lower crowning walls are tied together by a mask of masonry leaving an air space of 5^{m} 25.

The upper part of the shore lock wall is hollowed out. Above the level of the lower reach its horizontal section is that of an arch laying on its side. This has allowed of reducing the thickness of the masonry at the base and of carrying directly back to the soil a notable part of the horizontal pressure, arrangement rendered necessary by the close proximity of the neighbouring houses.

A double side basin allows of effecting a considerable saving of the lock water.

There is only one lock gate, which has a vertical axis of rotation. The gates are worked mechanically, power being supplied directly to the shafts and operating gear by a hydraulic turbine operated by the fall.

The filling and emptying of the locks is done by cylindrical sluice gates, which system, first used in 1887 in the locks with a large fall, (5^{m} 20) of the "Canal du Centre", has since been somewhat generally adopted, particulary in the Panama Canal.

Barrage de Tuilière, sur la Dordogne.

Le barrage de Tuilière sur la Dordogne n'est pas un ouvrage édifié en vue de la navigation, bien que des écluses lui soient accolées. Il a été construit par la Société Énergie Électrique du Sud-Ouest, en 1900-1906, pour l'aménagement d'une usine hydro-électrique. Du type à vannes mobiles, il est disposé perpendiculairement à l'axe de la rivière et détermine une retenue des eaux de 12 mètres au-dessus de l'étiage.

La manœuvre des vannes permet de maintenir cette retenue, malgré les variations du débit de la rivière, pour des crues inférieures à 5m 50 au-dessus de l'étiage. Pour livrer passage aux crues supérieures à 6 mètres, les vannes doivent être levées entièrement, et toute retenue est alors supprimée. Ces crues importantes ne se produisent que pendant quelques jours par an; la hauteur de certaines crues exceptionnelles peut dépasser 12 mètres.

Le barrage est constitué par des piles en maçonnerie, fondées sur le rocher, supportant un viaduc métallique à poutres droites. Le débouché linéaire du barrage est de 77 mètres, représenté par sept travées de 10 mètres et une travée de 7 mètres. Une échelle à poisson de 7 mètres de largeur, du type à cascades, est accolée au barrage.

Les vannes métalliques utilisées pour la fermeture des travées sont des vannes glissantes équilibrées, du système Stoney; leur manœuvre est commandée électriquement, au moyen de treuils placés sur le viaduc. La hauteur de ces vannes est de 13 mètres: elles sont constituées par un tablier vertical en tôle, monté sur poutres à treillis horizontales: leur course verticale est de 17m 76.

Le poids d'une vanne avec ses deux contrepoids est d'environ 180 tonnes, et la commande exige une puissance de 5 chevaux environ, la vitesse d'ascension de la vanne étant de 0m 10 par minute.

L'usine génératrice utilisant les 24 000 chevaux que représente la chute est placée dans le prolongement du barrage: elle est équipée avec neuf groupes hydrauliques comprenant chacun une turbine double du type Francis, à axe vertical, commandant directement un alternateur d'une puissance de 2 000 kilowatts.

Une usine thermique de secours, avec turbines à vapeur, a pour but de suppléer aux insuffisances de la puissance hydraulique pendant les périodes de basses eaux et pendant les grandes crues de la Dordogne.

Grâce à cette installation, la Société Énergie Électrique du Sud-Ouest peut distribuer l'électricité à domicile sur un réseau dont le développement atteint actuellement 1 200 kilomètres, répartis dans le voisinage du triangle formé par les villes de Bordeaux, Angoulême et Périgueux.

Le projet du barrage et de l'Usine de Tuilière est dû à M. Claveille, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, actuellement Directeur des Chemins de fer de l'État.

Vue de l'aval du barrage et de l'usine hydro-électrique de Tuilière.

Tuilière dam and hydro-electric Station. View from below.

The Tuilière Barrage on the Dordogne.

The Tuilière Barrage on the Dordogne was not built for the purpose of Navigation although its construction comprises locks. It was built in 1905-1908, by the Société Énergie Électrique du Sud-Ouest, in connection with a hydro-electric works. Of the regulating sluice gate type it is placed in a line perpendicular to the axis of the river and its retaining height is 12 meters above the low water line.

The regulating of the sluices allows of this storage being maintained in spite of the variable flow of the river, for floods of not more than $5^{m}50$ above low water mark. To allow the passage of flood water of more than 6 meters the sluice gates must be entirely raised and all the impounded water then liberated. The heavy floods only occur for a few days in the year and the height of certain exceptional floods sometimes exceeds 12 meters.

The barrage is constructed of masonry piers bedded on the rock and carrying a metallic viaduct of straight girders. The linear opening of the dam is 77 meters comprising seven spans of 10 meters and one of 7 meters. A fish gradient having a width of 7 meters is built against the dam. The metallic gates used for closing the openings are balanced sliding sluices of the Stoney system and their working is regulated by means of electrically driven winches placed on the viaduct.

The height of the sluice gates is 13 meters: they comprise a vertical iron panel mounted on trellis girders, their vertical drop being $17^{m}76$.

The weight of a gate with its two counterweights is about 180 tons and to operate them an expediture of about 55 horse power is required, the speed of raising being about $0^{m}10$ per minute.

The generating station, utilising the 24 000 horse power to which the fall corresponds forms a continuation of the barrage and is provided with sets of hydraulic turbines, each one comprising a double turbine of the Francis type with vertical shaft direct coupled to a 2 000 kilowatt alternator.

An emergency steam plant with steam turbine allows of making up deficiencies in the hydraulic power during the low water period and the great floods of the Dordogne.

By means of this installation, the Société Énergie Électrique du Sud-Ouest can distribute current from house to house on a line now covering 1 200 kilometers, and spread over the neighbourhood of a triangle formed by the towns of Bordeaux, Angoulême and Périgueux.

The Tuilière barrage and generating station project are due to the efforts of Mr Claveille, General Inspector of Bridges and Roads (Ponts et Chaussées) now Director of the State Railways.

Ports maritimes.

Des sommes importantes, environ 120 millions de francs, furent consacrées à l'amélioration des principaux ports français pendant les premières années de la troisième République, mais c'est surtout à partir de l'exécution du programme Freycinet, en 1879, qu'ils ont été l'objet de travaux considérables. Ce programme leur attribuait une somme d'environ 500 millions de francs, qui a même été largement dépassée en exécution. Un nouveau programme, voté en 1903, leur a alloué une somme de 87 millions, qui ne doit être que la moitié des dépenses faites, l'autre moitié devant être fournie par les localités intéressées.

Enfin, des lois spéciales récentes ont encore, comme on le verra, doté les principaux ports de nouvelles et très importantes subventions. Le tableau ci-après montre les dépenses faites, à la fin du XIXe siècle, dans les ports français sous les divers Gouvernements qui se sont succédé depuis 1814 :

Périodes.	Travaux extraordinaires.	Travaux ordinaires.	Ensemble.
1814-1830 . . Fr.	23 559 000	21 820 000	43 379 000
1831-1847	122 499 000	61 457 000	183 956 000
1848-1851	28 990 000	16 261 000	45 251 000
1852-1870	228 883 000	91 530 000	320 413 000
1871-1900	671 745 000	217 601 000	889 346 000
Totaux . . Fr.	1 075 676 000	408 669 000	1 484 345 000

En raison de l'exécution du programme de 1879, le montant des dépenses des vingt-deux dernières années représente à peu près la moitié des dépenses effectuées pendant tout le siècle. D'autre part, de 1879 à 1903 il a été dépensé 688 millions de francs pour l'amélioration des ports maritimes et 91 millions pour celles des parties maritimes de la Seine, de la Loire et de la Garonne donnant accès aux ports de Rouen, de Nantes et de Bordeaux.

La loi du 22 décembre 1903 a consacré environ 86 880 000 francs à l'amélioration des principaux ports maritimes et plus de 75 millions pour la création de canaux destinés à relier au Rhône les ports de Cette et de Marseille. D'autres lois sont encore venues autoriser, dans les principaux ports, des travaux importants, notamment 85 millions pour Le Havre, 95 pour Rouen, 14 pour Nantes, 160 pour Bordeaux, etc., de sorte que le montant total des travaux actuellement en cours d'exécution dans ces ports est d'environ 400 millions.

L'État ne prend d'ailleurs à sa charge qu'une partie des dépenses, généralement la moitié, le reste étant à la charge des intéressés : Chambre de commerce, départements, villes, etc. Les sommes ci-dessus ne comprennent d'ailleurs pas les frais d'outillage des ports, qui incombent, normalement, aux Chambres de commerce.

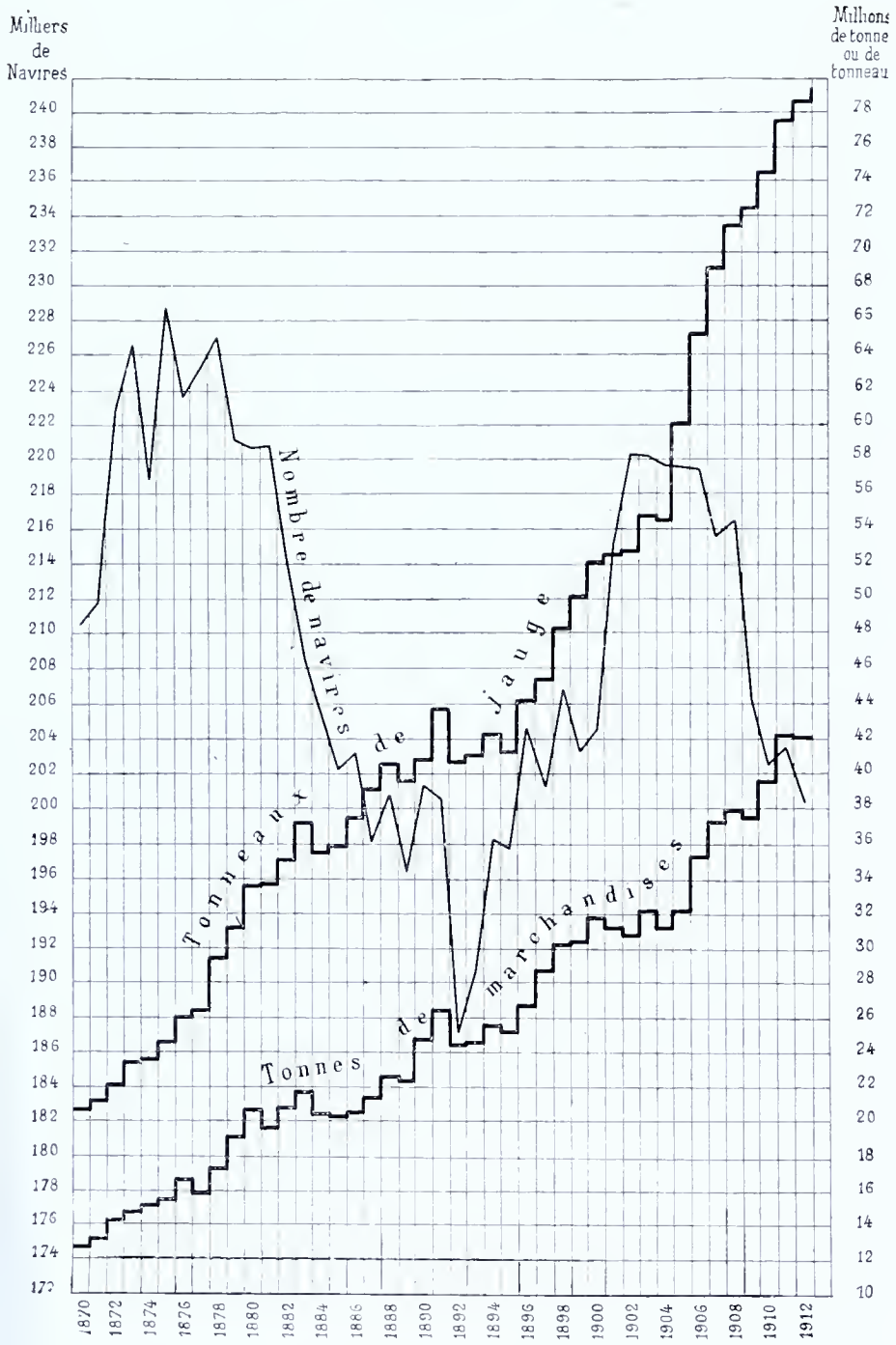
Grâce à ces dépenses, on a pu exécuter les travaux rendus nécessaires par l'accroissement de la dimension des navires et constituer l'outillage permettant leur rapide chargement ou déchargement, et leur trafic a progressé comme le montre le tableau ci-dessous et le graphique ci-contre.

TONNAGE DES PRINCIPAUX PORTS MARITIMES FRANÇAIS
(ENTRÉES ET SORTIES DE 1870 A 1912).

NOMS DES PORTS	1870	1880	1890	1900	1912
Marseille	4 372 687	7 235 174	9 601 110	11 969 602	19 296 938
Le Havre	2 820 406	4 518 202	5 625 975	5 297 672	10 379 350
Cherbourg	455 208	729 537	321 785	3 627 598	8 324 159 (*)
Boulogne	613 940	1 047 539	1 603 854	3 022 585	6 079 825 (*)
Bordeaux	1 933 208	3 072 015	3 621 279	3 707 962	5 721 545
Dunkerque	973 515	1 711 896	2 982 203	3 050 404	4 570 544
Rouen	450 542	1 456 337	2 016 531	2 539 198	4 500 679
Cette	621 825	1 481 306	1 933 541	1 670 437	2 450 503
La Rochelle	298 725	500 724	666 827	1 290 499	2 426 074 (*)
Nantes	348 256	333 627	354 062	1 131 552	2 204 065
Saint-Nazaire	541 322	1 049 611	1 550 409	1 862 866	2 128 522
Calais	659 585	1 116 408	1 205 420	1 633 227	1 980 060
Autres ports	6 656 244	9 439 014	9 500 398	11 295 626	16 213 613
TOTAUX DES PORTS	20 745 263	33 691 390	40 983 394	52 099 228	86 275 877

(*) Dans ces quantités sont compris pour : 1° Cherbourg, 318 navires, jaugeant 4 015 646 tonneaux ; 2° Boulogne, 338 navires, jaugeant 2 256 148 tonneaux ; 3° La Rochelle-La Pallice, 37 navires, jaugeant 251 189 tonneaux ; soit 693 navires, jaugeant 6 512 643 tonneaux, appartenant à des lignes de navigation qui font simplement escale dans ces ports pour y prendre ou laisser des voyageurs. C'est de là et de quelques autres cas analogues que provient la différence entre le tonnage total pour 1912 et le chiffre correspondant du graphique.

Les courtes monographies qui sont données ci-après pour les principaux ports français montrent les améliorations successives dont ils ont été l'objet et l'accroissement du trafic qui s'en est suivi.



Graphique montrant l'accroissement du nombre et du tonnage des navires ayant fréquenté les ports français de 1870 à 1912.

Diagram showing number and loading increase of boats having frequented french ports, 1870 to 1912.

Sea Ports.

Important sums of money, about 120 million francs, were spent for improvements of the principal French ports during the first years of the third Republic, but it was especially after the carrying out of the Freycinet programme in 1879 that considerable work was done in this connection. This programme provided for a sum of 500 millions francs which has been much exceeded since in the carrying out of the work. A new programme, accepted in 1903, provided for a sum of 87 millions francs, which is only half of the sum spent, the other half having to be paid by the districts concerned.

Recent special laws have, as we shall see, granted further important subventions for the principal ports. The following table shows the amount expended at the end of the nineteenth century in connection with French ports, under the different successive governments since 1814.

Periods.	Works extraordinary.	Works ordinary.	Together.
1814-1830 . . Fr.	23 559 000	21 820 000	43 379 000
1831-1847	122 449 000	61 457 000	183 956 000
1848-1851	28 990 000	16 261 000	45 251 000
1852-1870	228 883 000	91 530 000	320 413 000
1871-1900	671 745 000	217 601 000	889 346 000
Totals. . Fr.	1 075 676 000	408 669 000	1 484 345 000

The amount of expenses for the last twenty two years representes about half of those incurred for a whole century, this on account of the carrying out of the 1879 programme. On the other hand, 688 millions francs were spent from 1879 to 1903 for the improvement of sea ports, and 91 millions on those for the ports of the Seine, the Loire and the Garonne the approaching waterways to Rouen, Nantes and Bordeaux.

An allowance of 86 880 000 francs was made by the law of 22 december 1903, for the improvement of the different sea ports, and more than 75 millions for the construction of canals to connect up the ports of Cette and Marseilles to the Rhone. Other laws have been passed since authoring the expenditure of 85 millions francs for the carrying out of important work in the sea port of Havre, 95 for Rouen, 14 for Nantes, 160 for Bordeaux, etc., so that the total work in hand for these ports amounts to about 400 millions.

The State however only contributes a part of these expenses, generally

the half of same it being incumbent on the interested parties, Chambers of Commerce, departments, towns, etc., to provide the rest. The above amounts, however, do not include the expenditure in connection with machinery and other gear for the ports, which is generally covered by the Chambers of Commerce.

Thanks to this expenditure, it has been possible to carry out the work rendered necessary by the increasing size of the ships, and of providing suitable plant and machinery for allowing their rapid loading, and unloading and the traffic has progressed as shown by the following table and the diagram herewith.

TONNAGE OF PRINCIPAL FRENCH SEA PORTS
(ARRIVALS AND DEPARTURES FROM 1870 TO 1912).

NAMES OF PORTS	1870	1880	1890	1900	1912
Marseille	4 372 687	7 235 174	9 601 110	11 969 602	19 296 938
Le Havre	2 820 406	4 518 202	5 625 975	5 297 672	10 379 350
Cherbourg	455 208	729 537	321 785	3 627 598	8 324 159 (*)
Boulogne	613 940	1 047 539	1 603 854	3 022 585	6 079 825 (*)
Bordeaux	1 933 208	3 072 015	3 621 279	3 707 962	5 721 545
Dunkerque	973 515	1 711 896	2 982 203	3 050 404	4 570 544
Rouen	450 542	1 456 337	2 016 531	2 539 198	4 500 679
Cette	621 825	1 481 306	1 933 541	1 670 437	2 450 503
La Rochelle. . . .	298 725	500 724	666 827	1 290 499	2 426 074 (*)
Nantes	348 256	333 627	354 062	1 131 552	2 204 065
Saint-Nazaire . . .	541 322	1 049 611	1 550 409	1 862 866	2 128 522
Calais	659 585	1 116 408	1 205 420	1 633 227	1 980 060
Autres ports . . .	6 656 244	9 430 014	9 500 398	11 295 626	16 213 613
TOTALS OF THE PORTS.	20 745 268	33 691 390	40 983 394	52 099 228	86 275 877

(*) These figures include : 1, for Cherbourg, 318 ships of 4 015 646 tons ; 2, for Boulogne, 338 ships of 2 256 148 tons ; 3, for La Rochelle-La Pallice, 37 ships of 251 189 tons or 693 ships of 6 512 643 tons belonging to shipping which simply puts into these ports in order to take or to leave passengers. It is on account of this and other like cases that the difference exists between the total tonnage for 1912 and the corresponding figures on the diagram.

The short monographs which follow, concerning the principal French ports, show the successive improvements carried out therein and the increase in traffic which has followed.

Port de Dunkerque.

Le port de Dunkerque, créé en 1686 par Vauban, qui fit établir le bassin à flot de la marine, dut être démoli en 1713, en exécution du traité d'Utrecht, et ce ne fut qu'en 1783 que son rétablissement fut rendu possible par le traité de Versailles, qui termina la guerre d'Amérique et proclama l'indépendance des États-Unis. Ce n'est que depuis 1870 que le port s'étendit rapidement et que d'importants travaux y furent exécutés.

La largeur du chenal d'accès a été portée de 70 à 120 mètres, sa profondeur à haute mer de 4m 50 à 10m 50. Les surfaces d'eau ont passé de 19 à 69 hectares, celles des terre-pleins et des quais de 10 à 80 hectares, et le développement des quais de 2 600 mètres à 14 000 mètres.

Aussi le tonnage des navires, entrées et sorties, qui n'était que de 853 000 tonneaux en 1870, a-t-il atteint 5 068 000 tonneaux en 1914, et le tonnage des marchandises a-t-il passé pendant la même période de 745 000 tonnes à 3 540 000 tonnes.

Le total des sommes dépensées de 1870 à 1914, pour atteindre ce résultat, s'est élevé à 139 millions de francs.

Il y a lieu de penser que le port de Dunkerque continuera à se développer dans l'avenir ; déjà d'immenses terrains ont été acquis pour l'exécution de nouveaux bassins, pour la modification de l'entrée, la création d'une nouvelle écluse et de nouvelles formes de radoub.

The Port of Dunkirk.

The port of Dunkirk, built in 1686 by Vauban, to whom the building of the naval dock was also due, had to be destroyed in 1713, in accordance with the treaty of Utrecht, and it was only in 1783, that its reconstruction was rendered possible by the treaty of Versailles, which finished the American war and proclaimed the independence of the United States. It was only after 1870 that the rapid extension of this port took place and that important work was done in its connection.

The width of the channel was carried from 70 to 120 meters, its dept at high tide from 4m 50 to 10m 50. The superficial area of its waters was increased from 19 to 69 hectares (47 to 170 acres) and that of ground and quays from 10 to 80 hectares (25 to 198 acres), the increase for the quays being from 2 600 to 14 000 meters.

The resulting increase of shipping, arrivals and departures, the tonnage of which was 853000 in 1870, reached that of 5068000 tons in 1914, and the weight of merchandise increased during the same period from 745 000 to 3 540 000 tons.

The total amount of money expended in this connection, from 1870 to 1914, was 139 millions francs.

There is reason to suppose that the port of Dunkirk will continue to develop in the future. Already immense plots of land have been bought for building new basins, for altering the entry, for building a new lock and also dry docks.

Ports de Calais et de Boulogne.

Ces deux ports sont les plus rapprochés de l'Angleterre et c'est à cette situation qu'ils doivent une grande partie de leur importance, surtout au point de vue du mouvement des voyageurs.

Depuis 1912, le port de Calais possède deux bassins à flot.

De 1870 à 1913, le tonnage des navires s'y est élevé de 518 692 à 2 525 202 tonneaux, et le nombre des voyageurs de 108 184 à 409 944.

Les sommes consacrées à l'amélioration et à l'extension du port s'élèvent à 60 millions, non compris les 3 500 000 francs dépensés par la Chambre de commerce pour la création de l'outillage public.

Le port de Boulogne est non seulement le rival de Calais pour le transit des voyageurs entre la France et l'Angleterre, mais il occupe le deuxième rang (après Cherbourg) comme port d'escale des grandes lignes étrangères de navigation transatlantique. Sur un tonnage total de 6 079 825 tonneaux, en 1912, 2 256 148 appartenaient à 338 grands paquebots ayant fréquenté ce port. D'autre part, Boulogne occupe au point de vue de la pêche maritime le premier rang parmi les ports français et sans doute du continent.

Des travaux considérables ont été exécutés depuis 1879 pour obtenir ce résultat : création d'un port en eau profonde, amélioration du chenal d'accès, construction de nouveaux bassins, etc.

The Ports of Calais and Boulogne.

These two ports are the nearest to England, and it is their being so situated which accounts for their size and prosperity, and above all from the point of view of travellers.

Since 1912, the port of Calais has had two basins.

From 1870 to 1913, the tonnage of the ships increased from 518 692 to 2 525 202 tons and the number of travellers from 108 184 to 409 944.

The sum of money spent in the improving and extension of the port amounted to 60 millions, not including the 3 500 000 francs spent by the Chamber of Commerce for the providing of machinery and plant for public use.

The port of Boulogne is not only the rival of Calais as regards the conveyance of travellers between France and England, but it ranks second (after Cherbourg) as a port of call for the big foreign transatlantic liners. On a total number of ships of 6 079 825 tons displacement in 1912, 2 256 148 tons belonged to 338 large passenger steamers having frequented the port. On the other hand, Boulogne occupys, as regards the fishing industry, the first rank in the French ports and, no doubt, on the continent.

Port du Havre.

Le port du Havre, tête de ligne des grands paquebots transatlantiques, vient après Marseille par l'importance de son tonnage, mais il est le premier port de France eu égard au mouvement des voyageurs et à la valeur des marchandises importées et exportées.

Les améliorations successivement réalisées ont d'ailleurs permis un accroissement considérable du trafic qui de 2 820 406 tonneaux en 1870 a passé à 10 841 470 en 1913.

Les travaux qui y sont actuellement en cours d'exécution sont l'aboutissement naturel des études entreprises depuis vingt ans pour en faire un port commode et bien outillé, répondant aux conditions imposées par son développement rapide et les exigences modernes.

On donnera une idée de l'importance de ces travaux en signalant que leur dépense totale prévue est de 85 millions, non compris l'outillage accessoire (voies de chemins de fer, appareils de levage et de manutention, abris, etc.), et que pareille somme a déjà été dépensée depuis quarante ans pour l'amélioration du port.

Quand ces travaux seront achevés, Le Havre pourra recevoir facilement à toute heure, abriter en eau profonde et réparer les grands transatlantiques modernes de 12 à 13 mètres de tirant d'eau, quelles que soient leurs autres dimensions.

Historique des agrandissements et améliorations du port du Havre. — Le Havre de Grâce a été fondé en 1517 par François Ier qui voulait en faire à la fois un port de commerce et un port de guerre. Ce ne fut tout d'abord qu'un port d'échouage et les premiers grands agrandissements datent de l'époque de Richelieu qui, en 1628, fit construire le Bassin du Roi. En 1787, fut approuvé le projet grandiose d'amélioration de Lamandé, dont la réalisation, à quelques légères modifications près, ne fut achevée qu'en 1838.

En 1837, on commence le bassin Vauban, puis peu après celui de la Floride creusé à la cote (+ 0,10), qui servit aux premiers transatlantiques à vapeur ; les fortifications qui enserrent la ville disparaissent et, de 1844 à 1855, on construit le bassin de l'Eure, où les transatlantiques accostent encore actuellement, et, en 1864, on achève la forme de radoub qui est destinée aux grands navires et la grande écluse d'accès.

Jusque là, tous les ouvrages avaient été construits facilement ; mais, à partir de ce moment, les terrains disponibles manquent et il faut exécuter les ouvrages nouveaux en faisant des emprises sur la baie de Seine.

C'est dans ces conditions qu'est construit en partie le bassin Bellot à deux darses (creusées à — 2,20 et — 2,65), compris dans le programme de Freycinet de 1879, ainsi que le canal de Tancarville de 25 kilomètres de longueur, destiné à permettre la navigation intérieure entre Le Havre et la basse Seine en évitant la traversée de la partie maritime de l'estuaire (voir la carte page 135).

Depuis 1890, c'est-à-dire lorsque les travaux du programme Freycinet furent achevés jusqu'à une époque toute récente, les dispositions générales du port, et notamment son entrée, ont conservé à peu près le même aspect. Mais dès 1879, à la suite des travaux d'une Commission nommée pour étudier la marche des alluvions dans la baie de Seine et pour savoir s'il fallait continuer les travaux d'endiguement de la basse Seine, poursuivis par le port de Rouen en vue d'améliorer l'accès du fleuve et de l'approfondir, la question s'est posée de savoir si ces travaux ne provoqueraient pas l'ensablement des abords des passes du port du Havre et de ces passes mêmes.

Après de nombreuses études, on adopta un projet qui engloba à la fois le remaniement de l'entrée du port du Havre et le prolongement des digues de la basse Seine sur une certaine longueur. La loi du 19 mars 1895 a autorisé les travaux ci-après, qui ont coûté 43 millions de francs :

1° La création d'un avant-port compris entre deux digues convergentes qui ont reporté l'entrée principale du port à plusieurs centaines de mètres au nord-ouest de l'ancienne en plaçant le nouveau chenal dans cette direction ;

2° L'exécution de dragages dans cet avant-port et dans le nouveau chenal extérieur, de façon à creuser la passe à la cote (— 6,00) ;

3° La construction, dans le nouvel avant-port, d'un grand quai de marée de 500 mètres de longueur avec, à son pied, une souille draguée à la cote (— 9,00) ;

4° La construction d'un grand sas éclusé, dit écluse de la Floride, de 30 mètres de largeur, de 240 mètres de longueur utile, qui fait communiquer l'avant-port avec le bassin de l'Eure ;

5° La démolition de tous les anciens ouvrages compris dans l'emprise des travaux.

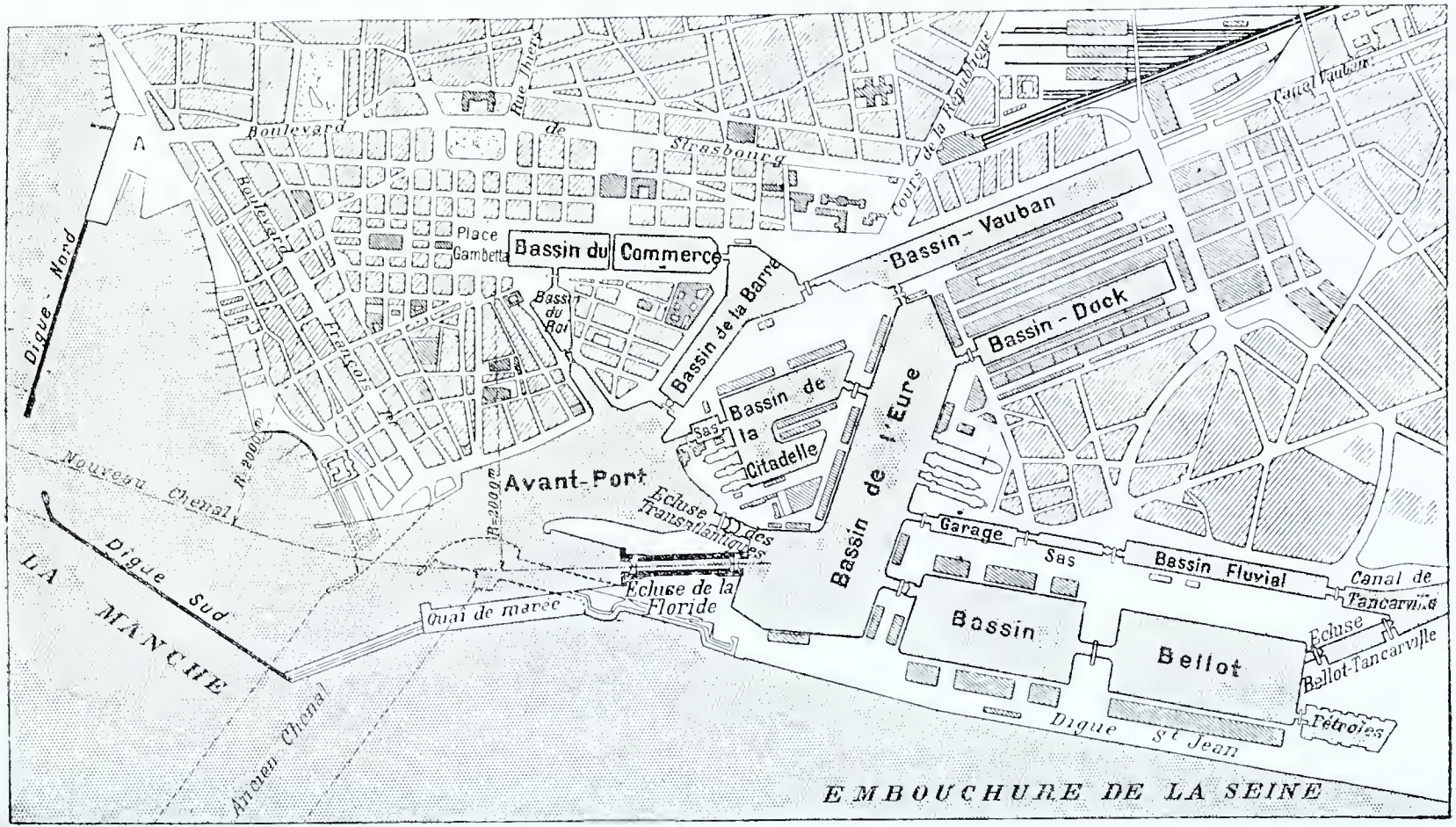
En outre, divers décrets et la loi du 2 août 1904 ont permis la construction d'un grand bassin maritime, dit bassin du Canal, dans le canal de Tancarville, et d'une écluse à sas destinée à le mettre en communication avec le bassin Bellot. L'achèvement de ces travaux a doté le port du Havre de 2 kilom. de quais puissamment outillés.

Bien que ces améliorations soient précieuses, le programme de 1895 n'a pas donné au Havre un nombre suffisant de nouveaux ouvrages utilisables pour les opérations commerciales, car le nouveau quai de marée dessert surtout la navigation d'escale. Ce sont ces besoins nouveaux qu'est appelé à satisfaire le nouveau programme de travaux voté par la loi du 11 février 1909, actuellement en cours d'exécution.

Travaux en cours d'exécution. — Les travaux prévus par cette loi sont répartis en trois groupes (figure de la page 129) :

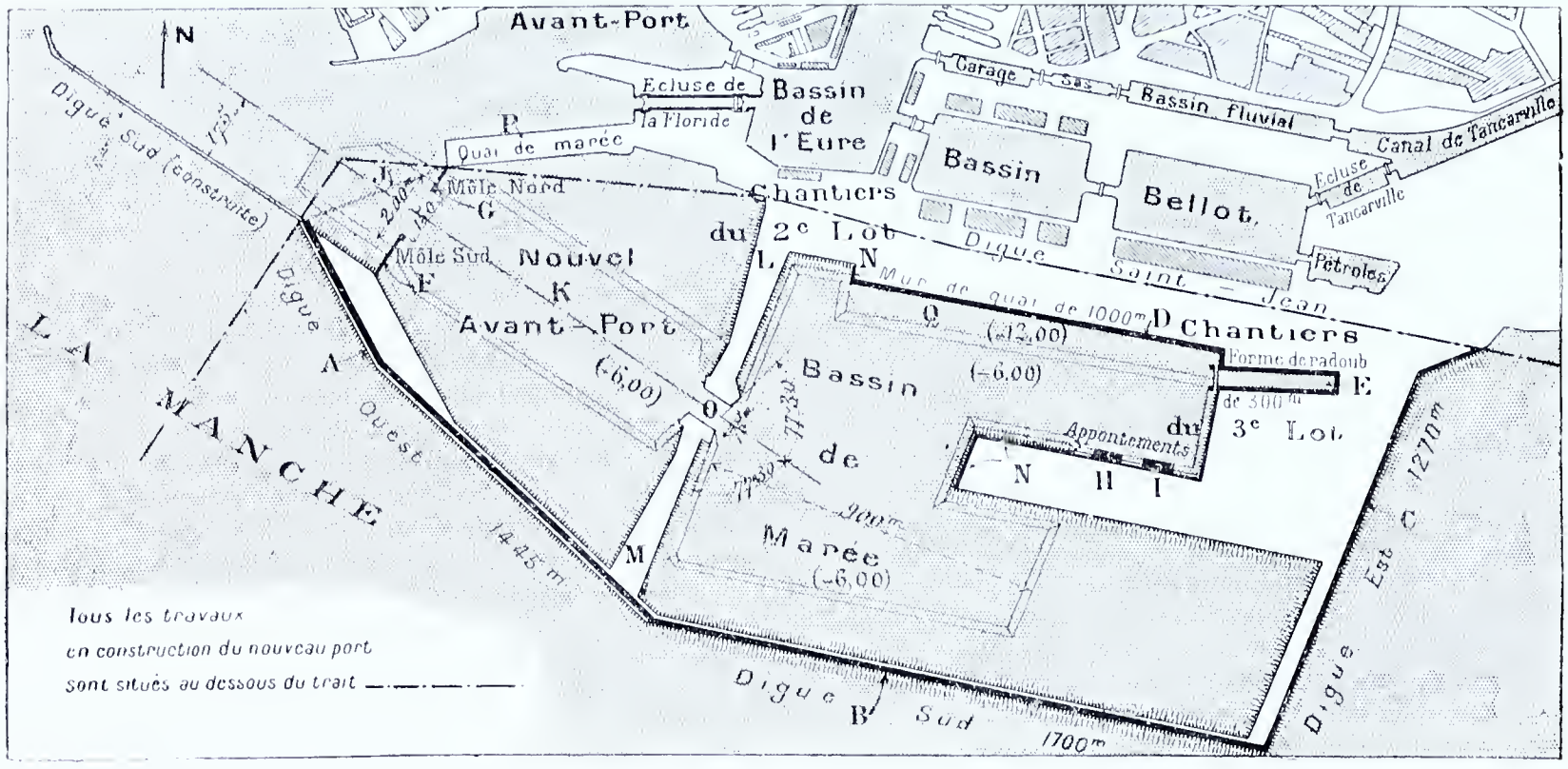
1° Fermeture de l'enceinte de l'emprise dans l'estuaire de la Seine au sud de la digue Saint-Jean, par des digues en mer : à l'ouest, en A ; au sud en B ; et à l'est, en C, et fermeture du nouvel avant-port par deux môles d'entrée, dits môle Nord, G, et môle Sud, F. La digue Est est construite à titre provisoire et en vue d'agrandissements ultérieurs du côté de l'est ;

2° Construction d'un quai D, de 1 000 mètres de longueur, dans le



État du port du Havre depuis 1870.

State of the port of Havre since 1870.



Agrandissements du port du Havre en cours d'exécution.

Enlargements of the port of Havre being completed.

bassin de marée, destiné à l'accostage simultané de trois grands paquebots transatlantiques :

3° Construction d'une forme de radoub E, pouvant recevoir des navires de 300 mètres de longueur, de 37 mètres de largeur, et de 13 mètres de tirant d'eau, et pouvant être allongée dans la suite s'il est jugé nécessaire. Cette forme sera établie sur un caisson métallique de 345 mètres de longueur sur 60 mètres de largeur. Ce sera le plus grand qui ait jamais été construit.

Il convient de remarquer qu'entre le bassin de marée et l'entrée actuelle du port, qui est conservée, une série d'ouvrages assureront le calme dans le bassin. Ces ouvrages consistent dans l'interposition, entre l'avant-port actuel et le nouveau bassin, du deuxième avant-port creusé seulement dans la traversée du chenal d'accès. Entre les deux avant-ports, les deux môles limiteront à 150 mètres la largeur du passage. Entre le nouvel avant-port et le bassin de marée on a prévu, s'il est nécessaire, la construction d'un pertuis O, de 75 mètres de largeur libre entre les deux terre-pleins L et M dont la construction est réservée. Les vagues venant du large (le vent de nord-ouest est le vent dominant au Havre) rencontreront donc, avant d'arriver au bassin de marée, trois étranglements successifs mesurant respectivement 200, 150 et 75 mètres de largeur, qui seront suivis chacun d'un élargissement considérable dont les bordures seront en partie constituées par des talus formant brise-lames, ce qui créera des conditions très favorables à l'amortissement de la houle. On espère ainsi la supprimer complètement, même par les plus mauvais temps.

Le dragage du chenal n'est prévu actuellement qu'à la cote (— 6,00), mais tous les ouvrages ont été étudiés en vue d'un dragage ultérieur à la cote (— 12,00), qui sera poursuivi au fur et à mesure de l'achèvement des ouvrages.

L'adjudication de ces travaux a eu lieu en trois lots, par voie de concours ; leur exécution a été confiée en totalité à l'entreprise « Schneider et Cie, Vigner et Michel-Schmidt » qui a été autorisée à s'adjoindre MM. Hersent, pour l'exécution des deuxième et troisième lots. La coordination des efforts par une seule entreprise a permis d'accepter le délai de huit années prévu pour l'achèvement, délai très court, eu égard aux sujétions des travaux de marée et non abrités.

La moitié des 85 millions que coûteront les travaux actuellement en cours sera couverte par l'État, l'autre moitié par les fonds de concours des collectivités intéressées et notamment par le département de la Seine-Inférieure, la ville du Havre et la Chambre de Commerce.

Lorsque ces travaux seront terminés on aura dépensé, depuis 1880, près de 170 millions, sans compter une somme de 10 millions dépensée pour l'outillage du port par la Chambre de Commerce du Havre. C'est elle aussi qui payera les frais de l'outillage destiné à compléter les travaux en cours. Le projet d'organisation de cet outillage n'est pas encore arrêté définitivement.

Ces travaux, dont la conception autant que l'exécution fait l'admiration des spécialistes, font honneur aux éminents ingénieurs de l'État qui les ont projetés : MM. Vétillart, Ducrocq, Guiffart, Laroche, Balling, etc.

The Port of Havre.

The port of Havre, the, so as to say, head quarters of the large transatlantic liners, ranks after Marseilles, by the importance of its tonnage, but it is the principal French port both as regards passenger traffic and value of merchandise imported and exported.

The work now being carried on is a natural completion of that studied for the past twenty years with a view to making the port convenient and of it being provided with sufficient and suitable machinery to meet the conditions of its rapid development and modern requirements.

An idea of the importance of this work can be given by mentioning that the total expenditure provided for is 85 millions francs, not including accessory machinery (railway tracks, hoisting and other machinery, covered buildings, etc.), and that a like sum has already been spent for forty years past in improving the port.

When this work is completed, the large modern transatlantic liners of 12 to 13 meters draught, whatever their other dimensions may be, will be able to easily enter Havre at any hour, berth in deep water and carry out repairs.

The carrying out of successive improvements have, moreover, allowed of a considerable augment in traffic, tonnage of which increased from 2 820 406 tons in 1870 to 10 841 470 tons in 1913.

Historic of the enlargement and improvements of the port of Havre. — The " Havre de Grace " was founded in 1517 by François I, who wished to make of it a mercantile and naval port at the same time. It was only, in the first case, a stranding harbour and the first enlargements date from the time of Richelieu, who, in 1628, had the " Bassin du Roi " built. In 1787, the imposing improvement scheme of Lamandé was approved, the carrying out of which, with a few slight modifications was only finished in 1838.

In 1837, the Vauban basin was commenced, shortly after which the Florida basin was excavated at the level (+ 0^m 10), which was used for the first transatlantic steamers; the fortifications which surrounded the town dissapeared and, from 1844 to 1885, the Eure basin was built where the transatlantic liners are still berthed, as was, in 1864, the graving dock intended for large steamers and also the great entrance lock.

Up to that time, all the work had been carried out easily, but from that time forward, ground was not available and it was necessary to reclaim the desired area in the bay of the Seine.

It is under these conditions that a part of the Bellot dock was built comprising 2 tidal basins (excavated at — 2^m 20 and — 2^m 65) included in the Freycinet programme of 1879, as well as the Tancarville canal of 25 meters length, intended for inland navigation between Havre and the lower Seine avoiding thus crossing the sea part of estuary (see map, page 135).

Since 1890, that is to say, when the work set out by the Freycinet scheme has been finished at quite a recent date, the general arrangements of the port and especially the entry thereto have conserved the same aspect. But from 1879, after the work of a commission named to study the drift of alluvion in the bay of the Seine and to ascertain whether it was necessary to continue the dam work of the lower Seine, which was being carried out by the Port of Rouen with a view to improving the entry of the river and to deepen it, the question was whether this work would not bring about the filling up with sand of the Havre harbour entrance channels and the channels themselves.

After numerous projects were studied, a project was adopted which comprised, at the same time, modifications of the entry to the port of Havre and the extension of the lower Seine dams to a certain length. The law of 19 th March 1895, authorised the following work, which cost 43 million francs.

1. The building of a new outer harbour between the two converging jetties which have carried the principal entry of the port to several hundred meters north-west of the old one, creating a new channel in that direction.

2. The carrying out of dredging in this outer port and in the new outer channel, so as to deepen the passage to the level (— 6 meters).

3. The building, in this new outer port, of a large tidal quay 500 meters length with a bottom dredged to the level (— 9 meters).

4. The building of a large dock basin, called the Florida lock, of 30 meters width and 240 meters useful length, which connects up the outer harbour with the Eure basin.

The removal of all the old works were included in the undertaking.

Outside this, several decrees, and the law of 2nd October 1914 provided for the building of a large sea water basin called " Bassin du Canal ", in the Tancarville canal, and a lock chamber connecting it to the Bellot basin. The finishing of this work has provided the port of Havre with 2 kilometers of quays powerfully equipped with machinery.

Although these improvements are of much value, the programme of 1895 has not provided for a sufficient number of new building, etc., necessary to commercial operations, for the new tidal quay is used, above all, for vessels calling at Havre. It is these present requirements, the work in connection with which is now in progress, which were covered in the programme voted by the law of 11 th February 1909.

Work being carried out. — The work provided for by this law is divided up into three groups (fig., page 129).

1. Closing the belt reclaimed in the Seine estuary to the south of the Saint-Jean jetty by others out at sea: to the west at A, to the south at B and to the East at C and the closing of the new outer harbour by two entry jetties, called the North mole G and the South mole S. The East jetty is temporarily built in view of further enlargements on the east side.

2. Building a of quay D, of 1000 meters length, in the tidal basin, to allow of three large transatlantic liners being alongside at a time.

3. Building of a graving dock E for ships of 3000 meters length,

37 meters beam and of 13 meters draught, with room for increasing the length afterwards if it is considered necessary. This graving dock will be built on a caisson 345 meters length and 60 meters wide. It will be the largest ever built.

It is useful to add that between the tidal basin and the present entry to the harbour, which is to remain as such, a series of works will keep the water in the basin calm. This work will consist in the interposition, between the present outer harbour and the new basin, of the second outer harbour, dredged only across the entry of the channel. Between these two outer harbours and the two moles will limit the width of the passage to 150 meters. Between the new outer harbour and the tidal basin, arrangement have been made, in case it should be necessary, for the building of a small passage O, of 75 meters clear width between the two quays L and M, the building of which is for some future date. The waves rolling in from the open sea (North West winds predominate at Havre) will, before arriving at the tidal basin, encounter three successive narrowings, 200, 150 and 75 meters wide, each one of which will be followed by a considerable widening of which the sides will be partly built sloping so as to form a breakwater presenting a considerable resistance favourable to the breaking up of heavy seas. It is hoped that the effect of these heavy seas will be entirely suppressed, even in the very worst weather.

The dredging of the channel only provides at present for the level (— 6 meters), but all the works have been designed with a view to dredging later to the level (— 12 meters) which will be followed up as the work of building proceeds.

The contracts for these works were given out in three lots, after public tendering, and the carrying out of the whole work was given to the contractors, Messrs Schneider and Cº. Vigner and Michel-Schmidt, who were authorised to accept Messrs Hersent for the execution of the second and third lots. The co-ordination of efforts by one contracting party has allowed of accepting the delay of eight years for completing the work, a very short delay, seeing that the work is unsheltered and subject to tidal conditions. The half of the 85 millions, cost of the present works, will be covered by the State and the other half by the funds of the collectivity interested, and principally by the Seine " departement ", the town of Havre and the Havre Chamber of Commerce.

When this work is finished, 170 million francs will have been spent without counting a further outlay of 10 millions for the port machinery and plant by the Havre Chamber of Commerce, which will also meet the cost of the machinery for completing the work now in hand. The organising arrangements in connection with the machinery are not yet completed.

These works, the design of which as well as their execution, excite the admiration of specialists, honour the eminent State engineers to whose initiative they are due : Messrs Vetillart, Ducrocq, Gniffart, Laroche, Balling, etc.

Port de Rouen et Seine maritime.

Le port de Rouen est en communication directe avec la mer, dont il est distant de 125 kilomètres, sans aucune interposition d'écluses, ponts tournants ou autres obstacles; aussi la Chambre de commerce de Rouen s'est-elle toujours efforcée d'obtenir l'amélioration de la Seine, en même temps que l'extension des aménagements du port, afin d'augmenter le tirant d'eau et la sécurité des navires.

Toutefois, ce n'est guère que depuis 1848, et surtout depuis 1870, que l'on a exécuté des travaux considérables d'endiguement et de dragages qui ont transformé les conditions naturelles du fleuve.

Les sommes dépensées ou votées depuis 1870, pour des travaux terminés ou en cours d'exécution, s'élèvent à 90 331 000 francs, soit :

Pour la Seine maritime . . . . . francs.	52 566 000
Pour le port de Rouen	37 765 000

A ces chiffres, il faut ajouter celui de 95 millions de francs auquel sont évaluées les dépenses du programme général d'amélioration et d'extension du port de Rouen et de ses accès, déclaré d'utilité publique par la loi du 26 août 1913 et actuellement en cours d'exécution, ce qui donne un total de plus de 185 millions de francs.

La carte de la page 135, montrant les sinuosités de la Seine maritime, permet de se rendre compte des difficultés qu'il a fallu vaincre et qu'il faudra encore surmonter pour y aménager et entretenir un chenal navigable accessible aux grands navires.

L'état du port de Rouen en 1870 et en 1914 peut se résumer ainsi :

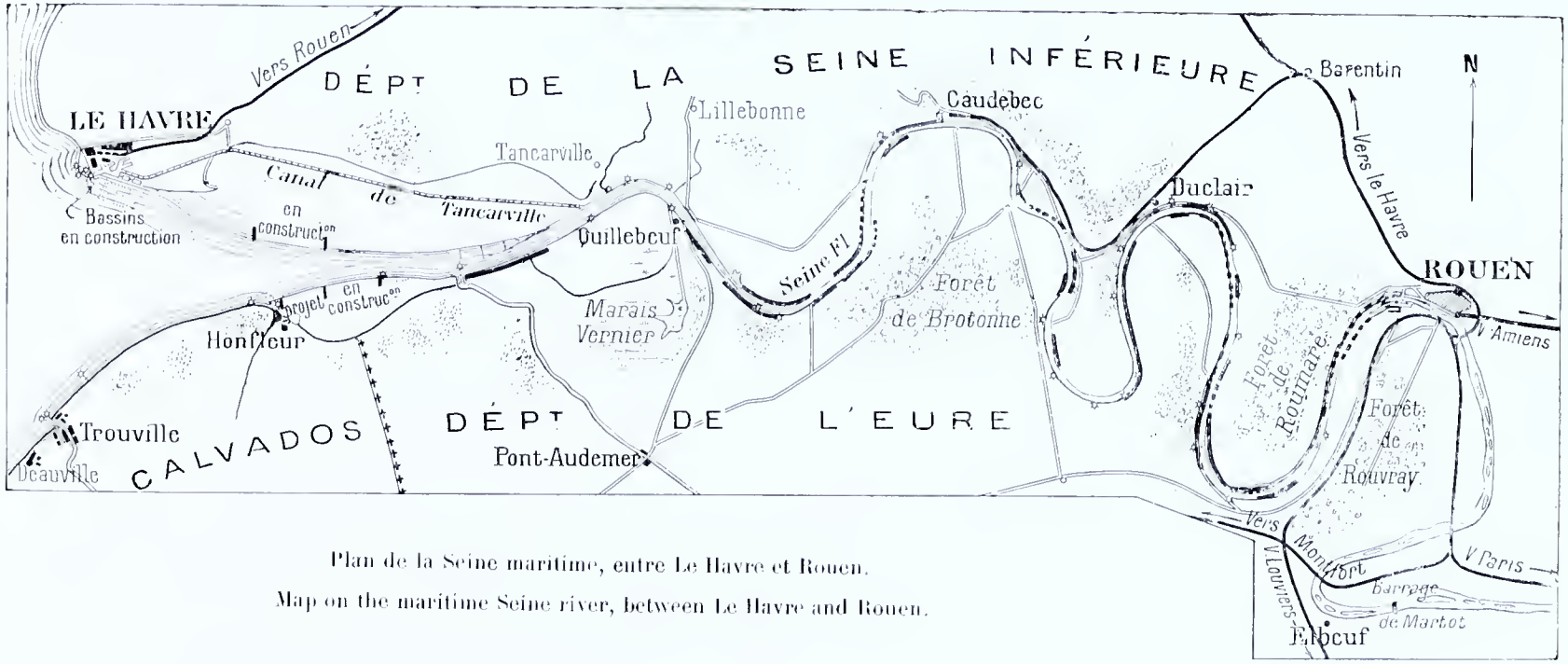
	1870	1914
Longueur des quais maritimes. . . . mètres.	2 000	6 043
Surface des bassins . . . . . hectares.	16	70,2
— terre-pleins maritimes . . —	6,6	70
Profondeur au pied des quais aux plus basses eaux connues . . . . . mètres.	2 à 3	7,50

En 1913, il est monté à Rouen plusieurs navires ayant plus de 7 mètres de tirant d'eau et portant plus de 6 000 tonnes de marchandises. Les travaux prévus dans la loi du 26 août 1913 doivent permettre la montée à toute marée de navires ayant plus de 8 mètres de tirant d'eau.

En 1870, l'outillage du port ne comprenait que quelques grues à main.

Actuellement, les différents engins de manutention que possède la Chambre de commerce comprennent : 45 grues roulantes hydrauliques et 20 grues électriques, et l'outillage privé comprend : 6 grues à vapeur mobiles et 80 grues à vapeur montées sur pontons flottants, pouvant être utilisés sur tous les points du port.

Cet outillage a donné une preuve de sa puissance pendant le quatrième trimestre de 1914 où, par suite de la guerre, le port de Rouen a été appelé à approvisionner de charbons le marché de Paris et certains départements. Il est entré en effet, pendant ce trimestre, 1 069 671



Plan de la Seine maritime, entre Le Havre et Rouen.

Map on the maritime Seine river, between Le Havre and Rouen.

tonnes de charbons, contre 743 772 tonnes pendant le trimestre correspondant de 1913, soit une augmentation de 44 %. Malgré le mauvais temps et les circonstances exceptionnelles, l'outillage du port de Rouen a ainsi manutentionné 12000 tonnes de charbon en moyenne par jour.

Les quais sont desservis par 42 kilomètres environ de voies ferrées qui les relient aux lignes des Chemins de fer du Nord et de l'État et qui desservent les nombreuses industries locales au moyen de vingt-deux embranchements particuliers.

La situation géographique du port de Rouen, qui en fait le port le plus rapproché de Paris et des frontières de l'Est, ses facilités d'accès, ses aménagements et son outillage ont contribué à accroître son trafic d'année en année, comme le montre le tableau suivant :

Entrées et sorties réunies (en tonnes de 1 000 kilogrammes).

Années.	Mouvement maritime.	Mouvement fluvial.
1870	435 286	non constaté
1890	1 780 784	1 498 790
1900	2 684 176	2 200 541
1908	4 094 161	3 341 661
1913	5 708 900	3 933 504

Grâce à l'importance de son port fluvial, Rouen s'est classé depuis plusieurs années au deuxième rang des ports de France, immédiatement après Marseille, au point de vue du tonnage des marchandises manutentionnées.

The Port of Rouen
and the Maritime portion of the Seine.

The port of Rouen is in direct communication with the sea, its distance from same being 125 kilometers, there being no any intervening locks, swing bridges or other obstacles.

The Rouen Chamber of Commerce has, therefore, always tried to improve the waterway of the Seine at the same time as increasing the port arrangements, plant, machinery, etc., in order to increase the draught and the safety of shipping.

It is only in 1848, however, and above all, since 1870, that important shore work and dredging have been carried out, which have modified the natural conditions of the river.

The money expended or voted since 1878, for work finished or at present being carried out, amounts to 90 331 000 francs, or :

For the Maritime portion of the Seine. . . francs.	52 566 000
For the port of Rouen.	37 765 000

To these figures must be added 95 millions francs, which represent the expenses connected with the general improvement programme, extension of the port of Rouen and of its approaches, which work was declared to be of public utility by the law of 26th august 1913, and is now being carried out, which makes a total of more than 185 millions francs.

The plan on page 135, showing the windings of the part of the Seine here in question, allows of appreciating the difficulties which it has been necessary to overcome and which it will still be necessary to surmount in order to make and maintain a navigable channel accessible to large ships.

The condition of the port of Rouen in 1870 and 1914, can be ascertained from the following résumé :

	1870	1914
Length of quays . . . . meters.	2 000	6 043
Surface of basins . . . hectares.	16	70,2
— of quays . . . —	6,6	70
Depth at foot of quays at lowest water mark . . . . . meters.	2 to 3	7,50

In 1913, several ships with a draught of more than 7 meters and carrying more than 6 000 tons of merchandise went up to Rouen. The works and modifications provided for by the law of 26th august 1913 are to allow of ships of more than 8 meters draught to go up under all conditions of tides.

In 1870, the machinery of the port only comprised a few hand cranes.

At present, the different gear owned by the Chamber of Commerce comprises 44 portable hydraulic cranes and 20 electric cranes, and private gear comprises 6 portable steam cranes and 80 floating steam cranes which can be used in any part of the port.

This machinery and gear proved its usefulness during the fourth quarter of 1914 when, on account of the war, the port of Rouen was called upon to provide coal for the Paris market and for certain other districts. During the quarter, 1 069 671 tons of coal came into this port against 743 772 tons for the corresponding quarter of 1913, which makes an increase of 44 %. In spite of bad weather and exceptional circumstances, the machinery of the port of Rouen has dealt, on an average, with 12 000 tons of coal per day.

The quays are served by about 42 kilometers of railway, which connects them up with the Northern and State Railways, and which also connects up to local industries by twenty private branch lines.

The geographical situation of the port of Rouen, which is really the nearest port to Paris, and to the eastern frontiers, its easy approaches, port and machinery facilities, have contributed to the increase of its traffic from year to year, as shown by the following table :

Arrivals and departures combined (in tons of 1 000 kilogrammes).

Year.	Maritime traffic.	River traffic.
1870.	435 286	no particulars
1890.	1 780 784	1 498 790
1900.	2 684 176	2 200 541
1908.	4 094 161	3 341 661
1913.	5 708 900	3 933 504

Thanks to the importance of its river port, Rouen has been classed for many years past in the second rank of French sea ports, coming immediately after Marseilles, from the tonnage point of view of merchandise dealt with.

Ports de Cherbourg et de Brest.

Les ports de Cherbourg et de Brest sont surtout des ports militaires.

Le port de Cherbourg doit son importance au point de vue commercial aux escales qu'y font plusieurs grandes lignes de navigation transatlantique. La rade est protégée par une digue en maçonnerie de 3 600 mètres de longueur, dont le coût s'est élevé à 70 millions, d'une étendue de 1 500 hectares et avec des fonds de 8 à 13 mètres au-dessous de zéro. Elle est remarquable par sa facilité d'accès et la sécurité de ses ancrages.

Grâce à ces dispositions et aux améliorations réalisées depuis dix ans, la navigation d'escales qui, en 1869, année de son début, ne comprenait que 47 paquebots jaugeant 81 700 tonnes avec 1 175 passagers, a compté, en 1913, 557 paquebots jaugeant 4 503 653 tonnes et portant 68 678 passagers, tant à l'entrée qu'à la sortie. Le mouvement commercial ordinaire du port de Cherbourg est, en outre, de plus de 4 millions de tonneaux.

Quoique le port de Brest soit le plus occidental de France, c'est-à-dire le plus rapproché de l'Amérique du Nord, et malgré des conditions nautiques très favorables, il n'occupe, au point de vue commercial, que le dix-huitième rang parmi les ports français. Il n'y a lieu d'en parler ici que pour signaler les efforts du « Comité d'études de Brest transatlantique » qui, depuis une quinzaine d'années, cherche à faire de ce port, sinon une tête de ligne, tout au moins un port d'escale pour la navigation transatlantique, spécialement pour les voyageurs.

The Ports of Cherbourg and Brest.

The ports of Cherbourg and Brest are especially Military.

The port of Cherbourg owes its size and commercial prosperity to the calls made there by several large transatlantic liners of different Companies. The road is protected by a masonry breakwater, 3 600 meters length, the cost of which was 70 millions. Its superficial area is 1 500 hectares, its depth, from 8 to 13 meters. The port is remarkable for the facility which its entry offers and the security of its anchorage.

Owing to these facilities and the improvements carried out for the past ten years, the number of ships calling, which, in 1869, the year of the port opening, was only 47 liners of 81 700 tons displacement, carrying 1 175 passengers amounted, in 1913, to 557 liners of 4 503 653 tons, carrying 68 678 passengers for the inward and outward journeys. The ordinary goods carrying shipping, represents more than 4 millions tons.

Although Brest is the most western port of France, that is to say, the nearest to North America, and in spite of its facilities, it only occupies the eighteenth rank in French ports. It is only necessary to speak of it here in order to refer to the efforts of the Brest Transatlantic Committee of Inquiry, which, for the past fifteen years has been endeavouring to make this port, if not the head of a line of steamers, at least a port of call for transatlantic shipping and especially for passenger traffic.

Port de Saint-Nazaire.

Le port de Saint-Nazaire doit sa principale importance à ce qu'il sert de tête de ligne aux paquebots transatlantiques qui desservent les Antilles, le Mexique et l'Amérique centrale et, en particulier, le port de Colon, origine du canal de Panama.

Ce port n'a commencé à se développer que vers le milieu du XIXe siècle, lorsque l'accroissement de tonnage des navires les a empêchés de remonter la Loire jusqu'à Nantes (voir la carte page 141). C'est de 1837 à 1856 qu'il a été doté de son premier bassin à flot et de 1857 à 1881 qu'il a été pourvu d'un deuxième, dit bassin de Penhoët. Pour en faciliter l'accès, il a d'ailleurs fallu exécuter un travail considérable, l'approfondissement de la « Barre des Charpentiers », banc de sable qui formait un seuil à 4 mètres seulement au-dessous des basses mers, rendant infranchissable l'embouchure de la Loire pour les navires d'un tonnage un peu élevé.

Enfin, une nouvelle entrée plus profonde, d'un accès plus facile et munie d'une écluse à sas de 211 mètres de longueur, a été donnée au port, de 1896 à 1907. Divers travaux complémentaires, dont quelques-uns inachevés, ont encore amélioré le port de Saint-Nazaire.

Grâce aux mesures prises, le tonnage des navires fréquentant le port de Saint-Nazaire, qui n'était que de 541 322 tonneaux en 1870 (entrées et sorties), s'est élevé à 2 128 522 tonneaux en 1912.

The Port of Saint-Nazaire.

The port of Saint-Nazaire, owes its size and prosperity principally to its being the head quarters of the Transatlantic Liner traffic with the West Indies, Mexico and Central America, and, particularly with the port of Colon, connected with the Panama canal.

The development of this port only took place towards the middle of the 19th century, when the increasing tonnage of ships prevented them from going up the Loire to Nantes (see map, page 141). It was from 1837 to 1856 that its first dock basin was built, and from 1857 to 1881 a second dock basin, called the Penhoët basin, was built. To facilitate the entry thereto it was also necessary to undertake a considerable amount of work, to deepen the " Barre des Charpentiers ", a sand bank which formed a sill of 4 meters only above low water mark, rendering it impossible for ships of any large tonnage to enter the mouth of the Loire.

A new channel of greater depth and more easy of entry, provided with a lock, the basin which is 211 meters length, was added to the port from 1896 to 1907. Much additional work was undertaken, a part of which still remains to be finished, this work having much improved the port of Saint-Nazaire.

Owing to measures taken, the tonnage of ships frequenting the port of Saint-Nazaire, which was only 541 322 tons in 1870 (for inward and outward sailings) increased to 2 128 522 tons in 1912.

Port de Nantes et Loire maritime.

Le port de Nantes avait déjà une certaine importance à l'époque romaine, mais ce n'est cependant que vers la fin du XIXe siècle que des travaux ont été entrepris pour assurer son utilisation dans des conditions pratiques et économiques. En même temps, on s'est préoccupé d'augmenter l'importance de son port fluvial, soit par la construction d'un canal latéral à la Loire, soit en améliorant la navigation sur ce fleuve. Sous les auspices d'une Association dite « La Loire navigable », le Gouvernement a fait procéder, en aval d'Angers, à des travaux qui ont donné des résultats encourageants.

Les premiers quais verticaux du port maritime de Nantes, le quai de la Fosse et le quai Ernest-Renan, d'une longueur totale de 1 060 mètres, n'ont été construits que de 1873 à 1881.

On s'occupa, dans la suite, d'édifier de nouveaux quais verticaux, parmi lesquels il convient de citer le quai des Antilles (loi du 3 mai 1900 : longueur, 556 mètres) et le quai de Roche-Maurice (décret du 19 mai 1909, longueur, 500 mètres).

Ces divers ouvrages sont insuffisants à l'heure actuelle. On les complète par des murs de quai d'une longueur de 1 723 mètres, répondant à tous les besoins modernes, que l'on établit dans le bras de Pirmil ; ils donneront lieu à une dépense estimée à 8 450 000 francs.

La longueur totale des quais verticaux, qui était pratiquement nulle en 1870, est actuellement de 4 910 mètres.

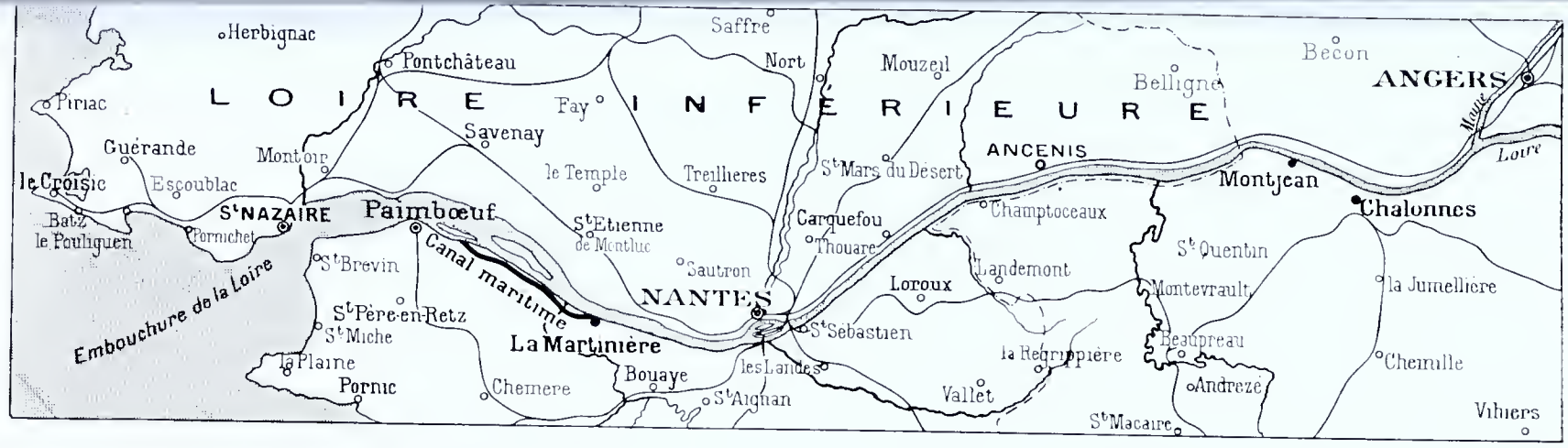
On rencontre au pied des principaux quais un mouillage de 5m50 sous les très basses mers d'étiage. Les travaux de déroctage en cours le porteront à 8 mètres le long de la plus grande partie des anciens quais.

Des travaux très importants ont été effectués pour assurer l'accès du port de Nantes aux grands navires.

De 1879 à 1892, on a exécuté un canal maritime à écluses, latéral à la Loire, d'une longueur de 15 kilomètres et qui a entraîné une dépense de 26 700 000 francs. Sa mise en service a eu pour conséquence de porter le trafic des marchandises importées ou exportées par navires de mer de 354 568 tonnes en 1886, à 876 000 tonnes en 1900.

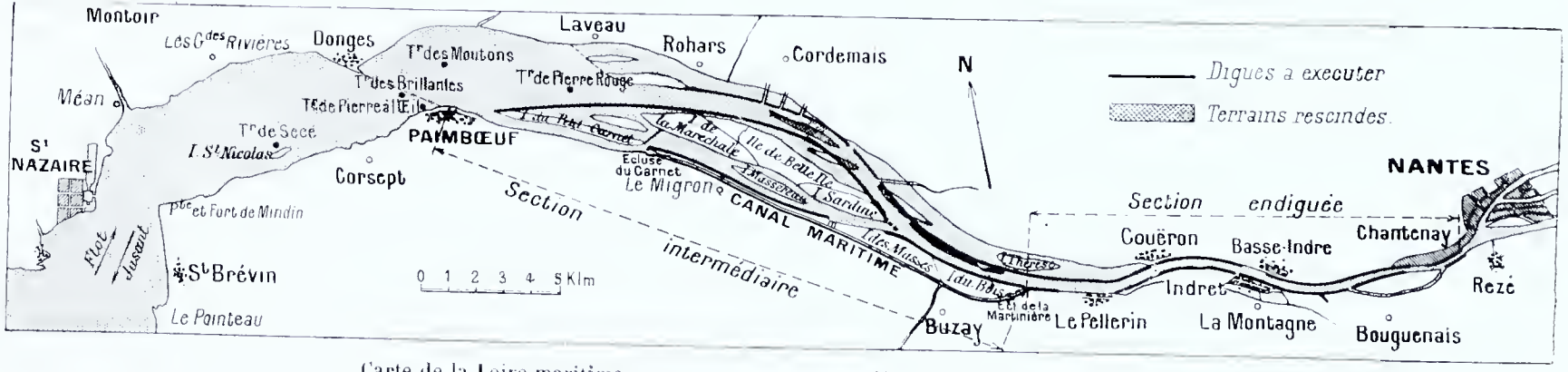
L'importance de cette augmentation a mis en évidence l'insuffisance du canal : il obligeait, en effet, les navires l'empruntant à perdre douze heures et ses écluses limitaient leur calaison à 5 mètres dans les faibles mortes eaux d'étiage. On s'est alors décidé à entreprendre la suppression des hauts fonds que sa traversée permettait d'éviter.

A cet effet, un nouveau lit a été créé par des dragages, des rescindements d'îles et des digues ; les travaux dont il s'agit ont été déclarés d'utilité publique le 24 décembre 1903 et sont en cours d'exécution à l'heure actuelle. Mais les résultats déjà acquis, combinés aux effets de l'amélioration de la Loire dans les autres sections situées en aval de



Carte de la Loire entre Angers et son embouchure.

Map of the Loire river, between Angers and the mouth.



Carte de la Loire maritime.

Map of the maritime Loire river.

Nantes, permettent d'espérer que les navires calant 7m 50 à 7m 60 pourront en tout état de marée circuler entre Nantes et la mer.

D'autre part, on prévoit maintenant d'importants travaux de transformation du fleuve en amont de Nantes et dans la traversée de la ville. Ils ont pour but principal de permettre une plus grande capacité d'emmagasinement de la marée. Ces travaux, qui comprendront l'amélioration du lit, l'enlèvement de barrages en enrochements et la reconstruction des ponts de la Madeleine et de Pirmil, dont les piles et leurs fondations créent un obstacle considérable au passage des courants, faciliteront l'écoulement des crues et amélioreront les conditions de propagation de la marée : ils augmenteront, par suite, dans une proportion qui paraît devoir être de 42 % en morte eau, et 60 % en vive eau, la vitesse du jusant au droit de Nantes.

Une somme de 8 850 000 francs doit y être consacrée.

La construction d'une forme de radoub, d'une longueur utile de 170 mètres, sera entreprise prochainement. L'estimation atteint 4 millions 500 000 francs.

En résumé, le montant des sommes dépensées ou votées depuis 1870, pour l'amélioration du port de Nantes et de la Loire maritime, s'élève à 87 620 000 francs.

Le trafic du port de Nantes (importations et exportations) était de 409 483 tonnes en 1870. Il a atteint 1 963 715 tonnes en 1913, accusant une augmentation de 28 % pendant les quatre dernières années.

The Port of Nantes
and the Maritime portion of the Loire.

The port of Nantes was of some importance during the Roman epoch, but it was only towards the end of the 19th century that work was carried out in order to ensure its being utilised under practical and economical conditions. At the same time, measures were taken to increase its importance by the building of a canal on the side of the Loire, or by improving navigation of the river. Under the auspices of the Association " La Loire navigable ", work was carried out below Angers by the State, with good résults.

The first vertical quays of the sea port of Nantes, that of la Fosse, and the Ernest Renan quay, the total length of which was 1 060 meters, were only built from 1873 to 1881.

Measures were afterwards taken to erect new vertical quays, amongst which can be mentioned the quay des Antilles (law of 3rd May 1900, length 536 meters) and the Roche Maurice quay (decree of 19th May 1909 length 500 meters).

The different works are insufficient at the present time. They are being completed by embankment walls and quays of 1 723 meters length,

Vue d'ensemble du port de Nantes, vers l'aval.

The Nantes harbour. View from below.

which suffice for all modern requirements, the work being carried out in the Pirmil arm of the river; and it will require an estimated expenditure of 8 450 000 francs.

The total length of the vertical quays, which was practically nil in 1870, is now 4 910 meters.

A depth of 5m 50 is found at the foot of the principal quays at very low tide. The removing of the rocky bottom of the river, now being carried out, will increase this depth to 8 meters along most of the length of the old quays.

Most important work has been carried out to open up the port of Nantes to the largest steamers.

From 1879 to 1892, a maritime lock canal was built on the side of the Loire, of 15 kilometers length and which brought about an expenditure of 26 700 000 francs. Its utility, when opened, was demonstroted by an increase in the goods traffic, importations or exportations, by sea boats, of 354 568 tons in 1886, to 866 000 tons in 1900.

The importance of this increase showed that the canal was not sufficient, it compelled the ships using this waterway to lose twelve hours and its locks limited the draught of the ships at low ebb tides to 5 meters. It was then decided to undertake the removal of the obstructions in the bed of the river which were avoided by going through the canal.

A new bed was created by dredging, the suppression of islands and dikes, and the work in question was declared to be of public utility on the 24th of December of 1903 and is at present being carried out. But the results already obtained combined with those of the Loire improvements in the other sections of same below Nantes, lead us to hope that ships of 7m 50 to 7m 60 draught will be able ply between Nantes and the sea under all conditions of tide.

On the other hand, important work is now under consideration in connection with the transformation of the river above Nantes and its passage through the town, and is principally intended to facilitate more favorable tidal conditions, that is to afford increased capacity. This work will comprise improvements of the river bed. The removing of rockwork barrages and the rebuilding of the Madeleine and Pirmil bridges, the piles and foundations of which form a considerable obstacle to the passage of currents, will facilitate the flow of flood water and improve tidal conditions and consequently increase, to an extent of what will probably be 42 % in still water and 60 % in running water, the speed of the ebb tide on the right side of Nantes.

A sum of 8 850 000 francs is to be expended on this work.

The building of a graving dock, with a useful length of 170 meters will be shortly undertaken, the estimated cost of which will be 4 500 000 francs.

Taken altogether the money spent or voted since 1870 for the improvements of the port of Nantes and the Maritime Channel of the Loire, amounts to 87 620 000 francs.

The shipping movement in the port of Nantes (importations and exportations) was 409 483 tons in 1870. It reached 1 963 715 tons in 1913, showing an increase of 28 % for the three last years.

Port de La Rochelle-La Pallice.

Si l'on en croit certains auteurs, des marins rochelais auraient abordé en Amérique avant Christophe Colomb. En tout cas, La Rochelle fut une des premières villes à profiter de la découverte du nouveau monde. Le commerce rochelais eut son apogée au XVIIIe siècle.

La loi du 2 avril 1880 déclara d'utilité publique l'établissement d'un troisième bassin à flot à 5 kilomètres des autres ouvrages du port proprement dit de La Rochelle, sur l'excellente rade de La Pallice. Ce bassin, de 11 hectares de superficie, présente 1 600 mètres de quai : il est relié à l'avant-port par une écluse à sas de 175 mètres de longueur utile, permettant d'utiliser un tirant d'eau minimum de 8 mètres. La dépense, évaluée d'abord à 14 500 000 francs, fut portée à 23 410 585 francs.

Dès l'ouverture au commerce de ce troisième bassin, en 1890, la marche ascensionnelle du mouvement maritime et commercial de La Rochelle s'accentua avec rapidité, de sorte que le tonnage des navires, qui n'était que de 20 875 tonneaux en 1870, a atteint 2 520 902 tonneaux en 1913, et le tonnage des marchandises de 920 783 tonnes.

L'accroissement de trafic constaté a montré que les établissements inaugurés en 1890 sont insuffisants et qu'il est nécessaire de les développer de nouveau : aussi la création d'un nouveau bassin pour lequel on prévoit une dépense de 23 millions de francs vient d'être décidée.

Le port de La Rochelle-La Pallice est d'ailleurs port d'escale important pour de grandes lignes de navigation transatlantiques.

The Port of La Rochelle-La Pallice.

If certain writers can be believed, the sailors of La Rochelle would appear to have landed in America before Christopher Columbus. In any case, La Rochelle was one of the first towns to profit by the discovery of the new world. The commerce of La Rochelle reached its highest point of prosperity in the 18th century.

The law of 2nd april 1880 decided the public utility of a third basin or dock being built, distant 5 kilometers from those of the port, properly speaking, of La Rochelle, in the excellent roads of La Pallice. This basin of 11 hectares superficial area, has 1 600 meters length of quay and is joined to the other harbour by a lock of which the useful length of the chamber is 175 meters, allowing for a minimum draught of 8 meters. The expenditure, at first estimated at 14 500 000 francs, was increased to 23 410 585 francs.

The noticeable increase in traffic shows that the new works opened in 1890 are insufficient and that it is necessary to increase them again. It has therefore been decided that a new basin shall be built, the necessary expenditure being 23 million francs.

The port of La Rochelle-La Pallice is, besides, an important port of call for the large transatlantic liners.

Port de Bordeaux.

L'importance du port de Bordeaux remonte à l'époque gallo-romaine, au temps où l'empereur Auguste avait fait de cette ville la capitale de l'Aquitaine.

Ce port, situé à 98 kilomètres de la mer, s'étend, sur 9 kilomètres environ, sur les deux rives de la Garonne, fleuve qui, après avoir pris le nom de « Gironde » à son confluent avec la Dordogne, le met en communication directe et facile avec l'Océan Atlantique. Il est partagé par un pont en maçonnerie en deux parties : l'une, à l'amont, forme le port de batelage ; l'autre, à l'aval, constitue le port maritime proprement dit.

Le premier, réservé à la navigation intérieure, se développe sur une longueur de 2600 mètres, avec une largeur variable de 400 à 500 mètres.

Le port maritime comprend des quais en rivière et deux bassins à flot pour l'accostage direct des navires ; il renferme également de vastes mouillages en rivières offrant, sous les pleines mers moyennes, des fonds de 8 mètres à 10m 70.

Avant 1870, la longueur des quais verticaux était de 919 mètres ; elle atteint aujourd'hui 3 711 mètres et va s'augmenter incessamment de 200 mètres de plus en cours d'achèvement.

L'outillage du port a été considérablement amélioré au cours des vingt dernières années, pendant lesquelles la Chambre de commerce y a consacré plus de 10 millions de francs.

Le nombre des navires de 6 mètres de tirant d'eau et au-dessus venus à Bordeaux en 1870 ne dépassait pas 15, alors qu'il était voisin de 400 en 1900, et l'on peut dire aujourd'hui que sur les 5000 navires entrés et sortis de Bordeaux en 1913, la plus grande partie avait une calaison dépassant 6 mètres. L'approfondissement continu du chenal d'accès est devenu suffisant pour permettre sans difficulté la montée des navires de 7m 50 de tirant d'eau et, dans certains cas plus favorables, de 7m 80, en attendant le moment prochain où les travaux en cours permettront aux navires de 8 mètres de calaison et plus de venir à Bordeaux par les marées les plus défavorables.

Grâce à ces améliorations, le tonnage des navires, qui n'était que de 1 933 208 tonneaux en 1870, s'est élevé à 6 622 950 tonneaux en 1913.

De nouveaux travaux, autorisés par les lois des 15 juillet 1910 et 21 avril 1914, s'élevant à 160 millions de francs, sont en cours d'exécution et auront pour effet de donner à Bordeaux un des premiers rangs parmi les ports de l'Atlantique. Pour obtenir ce résultat, on aura dépensé depuis 1870 environ 250 millions de francs.

Le programme adopté comprend notamment :

L'extension des bassins à flot et des quais à Bordeaux ;

Le rachat par l'État et l'exploitation par la Chambre de commerce, à 50 kilomètres de l'entrée de la Gironde, de l'avant-port de Pauillac-Trompeloup accessible aux navires de 10 mètres de calaison ;

La construction d'un port d'escale au Verdon, à l'embouchure même du fleuve, par des fonds de 12 et 13 mètres, permettant l'accostage en tout état de marée des plus grands navires.

The Port of Bordeaux.

This port, distance from the sea of which is 98 kilometers, extends to about 9 kilometers on both shores of the Garonne, river which, after having taken the name of "Gironde" at its junction with the Dordogne, puts it in easy and direct communication with the Atlantic Ocean. It is separated by a masonry bridge, the upper part being the port for river boat service and the lower the sea port properly speaking.

The first reserved for inland navigation, stretches out over a length of 2600 meters with a width varying from 400 to 500 meters.

The sea port comprises the river quays and two dock basins for the direct coming alongside of ships, it also comprises vast anchorages in the stream, providing, at mean high tides, a depth for ships of 8 to 10^{m} 70.

Before 1870, the length of the vertical quays was 919 meters; which to-day, has reached 3 711 meters and will be shortly increased by 200 meters, length now being completed.

The machinery of the port has been considerably improved for twenty years past, during which time the Chamber of Commerce has spent more than 10 million francs thereon.

The number of ships of 6 meters draught and above entering Bordeaux in 1870 did not exceed 15, whilst, in 1900 the number was nearly 400, and it can be said to-day that of the 5000 inward and outward going ships at Bordeaux in 1913, the greater number of same had a draught of over 6 meters. The continual deepening of the entry channel has become quite sufficient to allow of ships with a draught of 7^{m} 50 coming into the port, and in certain other favourable cases, the passage of ships of 7^{m} 80 draught, whilst awaiting the further results of work now in hand which will allow the passing of ships of 8 meters, and even more than that, up to Bordeaux, under the most unfavourable conditions of tide.

Owing to these improvements, the tonnage of ships, which in 1870, only reached 1 933 208 tons, has increased to 6 622 950 tons in 1913.

New works, authorised by the laws of 15th July 1910 and the 25th April 1914, the cost of which will be 160 million francs, are now being carried out and will give to Bordeaux one of the first ranks in the Atlantic ports. To accomplish this a sum of 250 million francs will have been spent since 1870.

The work undertaken includes especially :

The extension of the dock basins and the quays at Bordeaux.

The acquisition by the State and the right of management by the Chamber of Commerce, at 50 kilometers from the mouth of the Gironde, of the outer port or harbour of Pauillac-Trompelonp, accessible to ships of 10 meters draught.

The building of a port of call at Verdon at the very mouth of the river with bottoms at depths of 12 and 13 meters, will allow of the coming alongside of the largest ships under all conditions of tides.

Le Port de Marseille.

Le port de Marseille est, sinon le plus ancien, du moins, et depuis longtemps, le plus important des ports de la Méditerranée. Il ne comprenait encore au commencement du siècle dernier qu'un bassin naturel, le Port-Vieux, mais il a été agrandi, vers le nord, par la construction de bassins artificiels établis successivement à l'abri d'une digue parallèle à la côte. Cette digue, dont la longueur actuelle est de 3 500 mètres et qui sera allongée de près de 1 000 mètres par la construction du bassin de la Madrague, est établie par des fonds qui varient de 20 à 35 mètres, suivant un profil qui est devenu classique.

Les bassins portent les noms suivants (voir le plan page 149) : la Joliette, le Lazaret, l'Arenc, la Gare maritime, construits avant 1870; le bassin National, construit en 1880; le bassin de la Pinède, construit en 1905, et le bassin de la Madrague, actuellement en cours d'exécution.

Ils sont séparés entre eux, ainsi que de l'avant-port Sud et de l'avant-port Nord, par des traverses dans lesquelles on a ménagé des passes de communication : ces passes sont couvertes par des ponts tournants.

Tous ces bassins ont une forme rectangulaire, sauf le bassin d'Arenc qui est situé dans le voisinage du point où la digue extérieure change de direction. Chaque bassin, sauf celui de la Joliette, comporte, du côté de terre, un ou plusieurs môles enracinés au quai de rive et, du côté du large, un grand espace vide réservé pour les mouvements d'évolution des navires et pour l'appareillage.

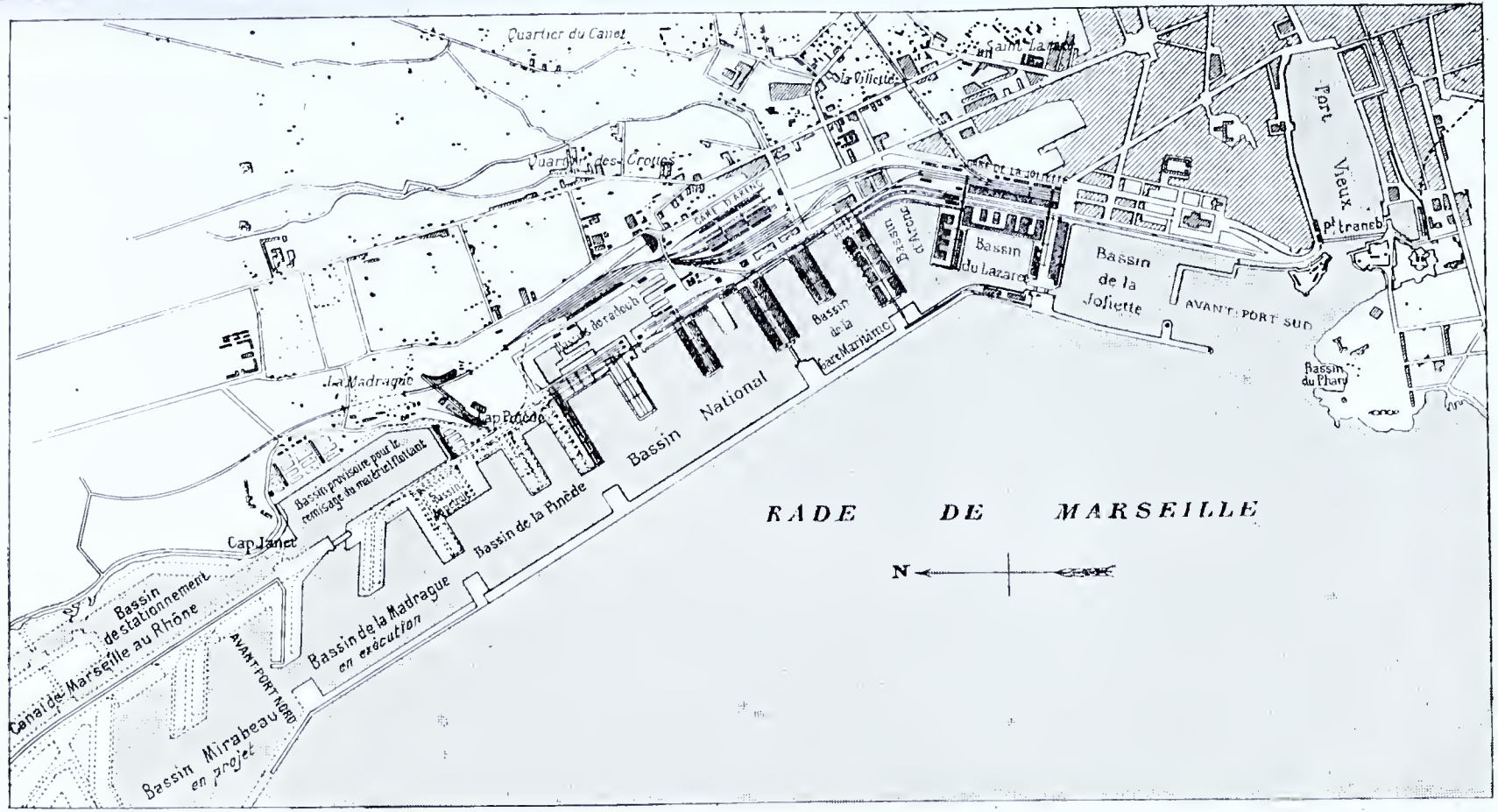
Le quai de rive, ainsi que tous les môles et traverses et une partie du quai du large, sont reliés aux gares par des voies ferrées et sont desservis par un outillage hydraulique très complet. La plupart des môles et traverses sont pourvus, en outre, de hangars pour le dépôt des marchandises.

La profondeur, le long du quai de rive, est de 6 à 7 mètres; elle va en croissant régulièrement jusqu'au quai du large, où elle atteint 10 mètres dans les bassins de la Joliette, du Lazaret, d'Arenc et de la Gare maritime, et jusqu'à 18 mètres dans le bassin National.

Le bassin de la Madrague coûtera 32 millions de francs et donnera une longueur de quais utilisable de 2 584 mètres. On envisage, en outre, la création d'un autre bassin, encore plus au nord, le bassin Mirabeau, qui donnerait 3 860 mètres de longueur de quais, coûterait 123 millions et pourrait recevoir des bateaux de 300 mètres de longueur, ayant 12 mètres de tirant d'eau.

Actuellement, les bassins en service, y compris les avant-ports nord et sud, comportent une surface d'eau totale de près de 200 hectares; le développement des quais atteint 21 630 mètres et les surfaces couvertes sur ces quais 950 000 mètres carrés, dont 104 000 mètres carrés pour les installations de la Chambre de Commerce.

Grâce aux agrandissements déjà réalisés, le tonnage du port de Marseille a passé de 4 372 687 tonneaux en 1870 à 21 090 820 tonneaux en 1913. Par contre, le nombre de navires ayant fréquenté le port, qui était de 18 155 en 1870, n'était plus que de 17 278 en 1913, conséquence naturelle de l'accroissement du tonnage moyen des navires.



Plan d'ensemble du port de Marseille.

Map of the Marseilles harbour.

The Port of Marseilles.

The port of Marseilles is, if not the oldest, at least the most important of the Mediterranean ports. It had only one basin, a natural inlet, at the commencement of last the century the " Port-Vieux " (old port), but it has been enlarged on the north side by the construction of basins, placed successively and sheltered by a sea wall parallel to the shore. This sea wall, of which the length is at present 3 500 meters, and which length will be increased by about 1000 meters by the building of the Madrague basin, rests on a bottom at a depth which varies from 20 to 35 meters, according to the now generally acknowledged profile.

The basins or docks are called by the following names (see plan, page 149) : La Joliette, Le Lazaret, l'Arenc, the Maritime Station, built before 1870, the " Bassin National ", built in 1880, the " Bassin de la Pinède ", built in 1905, and the " Bassin de la Madrague ", now being built.

They are separated from one another, as well as from the outer South harbour and the outer North harbour, by traverses, in which passages are left, which passages are spanned by swing bridges.

All these basins are of rectangular form, except the " Bassin d'Arenc ", which is in the neighbourhood of the position where the outer sea wall changes its direction. Each basin, excepting that of the Joliette, comprises, on the shore side, one or several piers joined to the wharf or shore quay, and, on the outer side, a large space is reserved for the free movement of the ships, for getting under weigh.

The wharf quay, as well as all the piers and traverses, and a part of the outer quay connected with the stations by railways, are provided with a very complete hydraulic plant. Most of the moles or piers and traverses are provided with sheds for storing goods.

The depth alongside the wharf of shore quay is from 6 to 7 meters, and this increases regularly up to the outer quay to a depth of 10 meters in the Joliette, the Lazaret, the d'Arenc and the Maritime Station basins, and up to 18 meters in the National basin.

The Madrague basin will cost 32 million francs and will comprise 2 584 meters useful length of quays. The building of another basin is also under consideration, further north. The Mirabeau basin, which will provide 3 860 meters length of quays, will cost 123 million francs and will berth steamers of 300 meters length and of 12 meters draught.

At present the waters of the basins being used, including the outer north and south harbours, have a total superficial area of 200 hectares and that covered by the quays is 950000 square meters, of which 104000 square meters for the Chamber of Commerce buildings.

Owing to the enlargements already made, the tonnage of the port of Marseilles increased from 4 372 687 tons in 1870 to 21 090 820 tons in 1913. On the other hand, the number of ships having frequented the port, which was 18 155 in 1870, was not greater than 17 278 in 1913, which decrease in number arises forcibly from the increased mean tonnage of the ships.

Ponts transbordeurs.

Ces ouvrages remplacent avantageusement, dans beaucoup de cas, les moyens de traversée des passes maritimes par bateau, par tunnel ou par pont supérieur. Ils laissent, en effet, la passe maritime entièrement libre, à toute heure, sans obliger les navires à aucun signal ni arrêt.

Inventés par M. Arnodin, le constructeur bien connu de ponts suspendus, ils comportent, au-dessus de la passe maritime et à une hauteur supérieure à celle des mâtures, un tablier métallique auquel sont adaptés quatre cours de rails. Sur ces rails, et pendu en dessous, est établi un cadre de roulement auquel sont attachés des câbles dont l'extrémité inférieure porte une nacelle à hauteur des quais.

Cette nacelle affecte la forme d'un tronçon de rue, c'est-à-dire qu'elle comporte une chaussée charretière bordée de deux trottoirs. Lorsqu'elle est accostée à quai, les piétons, véhicules ou animaux, embarquent de plain-pied et, cela fait, des moteurs électriques mettent en marche le cadre de roulement et, par suite, la nacelle qui y est suspendue.

Ce type d'ouvrage a été inauguré en 1889, par un pont de 160 mètres d'ouverture et 45 mètres de hauteur au-dessus du niveau de l'eau, construit à Bilbao (Espagne). D'autres ont été construits : à Rouen sur la Seine (1897), à Bizerte (en 1898, et transporté à Brest en 1908), à Rochefort (1899) et à Newport-Mon (Angleterre). Ce dernier a une ouverture de 196m 56 et 54 mètres de hauteur au-dessus du niveau de l'eau.

Tous ces ponts ont été établis d'après le système suspendu par câbles paraboliques avec poutres raidissantes du type semi-rigide, qui est généralement le plus économique. Toutefois, ce système entraîne la nécessité d'établir des massifs d'amarrage loin des rives, ce qui est difficile dans un port où les quais sont encombrés et bordés de maisons.

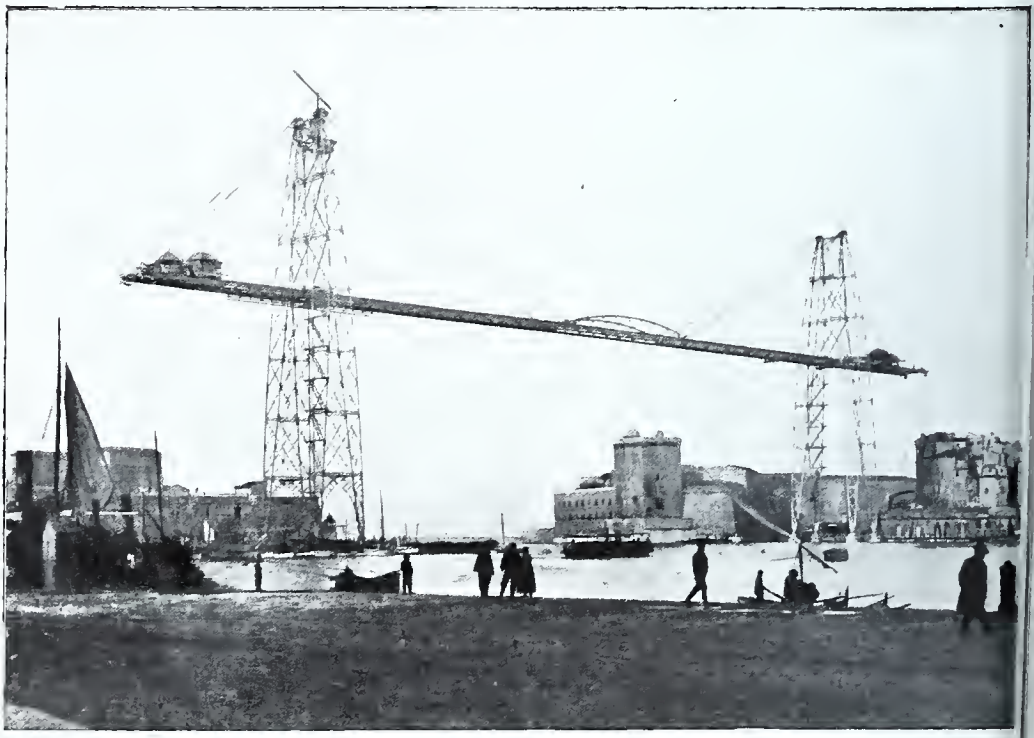
C'est le cas qui s'est présenté à Nantes et à Marseille, où M. Arnodin s'est trouvé dans la nécessité d'employer le système à contrepoids et à articulations, qui ne demande que des câbles d'amarrage verticaux.

Le transbordeur de Nantes, construit en 1903, a 140m 96 de portée d'axe en axe des pylônes et la hauteur de son tablier est de 50 mètres au-dessus des basses mers. La nacelle, de 10 mètres sur 12 mètres, constitue en surcharge d'épreuve un poids de 140 tonnes, elle peut porter en service normal une charge de 20000 kilogr. Elle peut contenir quatre voitures chargées ou trois cents piétons. Elle effectue la traversée de la Loire en une minute et peut faire le voyage en deux minutes et demie, y compris l'embarquement, la traversée et le débarquement.

Le pont transbordeur établi en 1906 à l'entrée du Port-Vieux, à Marseille, est du même type que celui de Nantes, mais sa portée est de 165 mètres et son tablier est également à 50 mètres au-dessus du niveau de l'eau. On a été ainsi conduit à avoir des pylônes dont le sommet est à plus de 86 mètres au-dessus de la mer.

Actuellement, on construit à Bordeaux un pont transbordeur qui aura 400 mètres d'ouverture et 45 mètres au-dessus des hautes eaux de la Garonne. Il sera, d'ailleurs, un peu différent des précédents.

Transbordeur de 160 mètres d'ouverture sur le Nervion, à Bilbao.
Transporter Bridge over Nervion river, at Bilbao; clear span 160 meters.



Transbordeur de 165 mètres sur le Port-Vieux, à Marseille.
Transporter Bridge over the Port-Vieux, at Marseilles; clear span 165 meters.

Transporter Bridges.

These structures advantageously replace in many cases the crossing of waterways by boat, tunnels or high bridges. They leave the waterway entirely free at all times of the day without obliging ships to make any signal or stop.

Designed by Mr Arnodin, the well known suspension bridge builder, they comprise a superstructure over the waterway at a height above that of ship's masts, carrying four sets of rails. Suspended from these rails and underneath is a roller frame to which are attached the cables carrying the car, which is on a level with the quays.

The cross section of the car is that of a street, that is, with a road and side walks. When against the quay, pedestrians, vehicles and animals embark without any change of level and the electric motors start the roller frame and consequently the car which is suspended from same, and the opposite shore is reached.

The first transporter of this type was built in 1889, a bridge of 160 meters span and 45 meters above the water line being constructed at Bilbao, Spain. Others have been built : at Rouen, over the Seine (1897) at Bizerte (in 1898) and after re-erected at Brest (1908), at Rochefort (1899) and at Newport-Mon England (1903). This last mentioned has a span of 196^{m} 56 and the height is 54 meters above the water level.

All these bridges are of the suspended parabolic curve cable design, the semi-rigid stiffening type of girder being employed which is generally the most economical. This system, however, renders it necessary to establish anchor blocks some distance back from the shore, which is difficult in a port where the quays are encombered and lined with houses.

This was the case at Nantes and Marseilles, where Mr Arnodin was led to the necessity of employing the counterweight and jointed system which requires vertical anchoring cables only.

The Nantes transporter, built in 1903, has a span of 140^{m} 96 from centre to centre of the towers. The height of the superstructure above the low water level is 50 meters. The car, 10 meters by 12 meters, weighs, with test overload, 140 tons and can carry, under normal conditions, a load of 20 tons. It can transport 4 loaded vehicles or 300 persons and the Loire can be crossed in one minute and the journey made in two and a half minutes, including the embarkment crossing and landing.

The transporter bridge erected in 1906 at the entry of Port Vieux, Marseilles, is of the same type as that at Nantes but its span is 165 meters and its superstructure is also at 50 meters above the water level. This has necessitated the building of towers of which the total height is at more than 86 meters above sea level. The car is of the same dimensions as that of the Nantes Bridge.

A transporter bridge is now being built at Bordeaux which will have a 400 meters span and a height of 46 meters above the highest level of the River Garonne. It will also be of a somewhat different type from those already built.

Services des Eaux et de l'Assainissement de la Ville de Paris.

Ces deux services sont placés sous la direction d'un même ingénieur, M. Colmet-Daâge, assisté de M. Baratte, tous les deux Ingénieurs en chef des Ponts et Chaussées.

Service des Eaux.

Grâce aux travaux exécutés à partir de 1860, sur l'initiative du Préfet Haussmann et de l'Ingénieur en Chef Belgrand, la Ville de Paris disposait déjà, en 1870, d'une consommation moyenne de 100 litres par jour et par habitant : actuellement, la quantité disponible s'élève à 360 litres.

Jusqu'en 1870, l'alimentation n'était assurée que par des prises d'eau à l'aide de machines en Seine ou en Marne, par le canal de l'Ourcq, exécuté sous le premier Empire, et par la dérivation de la Dhuis (131 kilomètres de longueur) dont les travaux, terminés en 1866, permirent l'amenée, jusqu'au réservoir de Ménilmontant (voir le plan page 157), d'un débit de 15 000 à 20 000 mètres cubes par jour.

La dérivation de la Vanne, d'une longueur de 173 kilomètres, fut terminée en 1874. Elle amène au réservoir de Montsouris 120 000 mètres cubes par jour depuis 1885, date à laquelle on a complété le débit de l'aqueduc par le captage de plusieurs sources basses, dont les eaux sont relevées par des machines.

Pour le service public, on a établi, en 1883 et 1887, de nouvelles usines permettant de relever l'eau de Seine dans des réservoirs, et un peu plus tard des établissements filtrants sur la Seine et sur la Marne, capables de fournir de l'eau potable par stérilisation, par divers procédés. En même temps, on poursuivait activement le développement de la double canalisation, et on introduisait l'usage réglementaire des compteurs pour la constatation des quantités d'eau fournies aux abonnés qui, jusque là, étaient livrées à robinet libre ou à la jauge.

Après la mort de Belgrand, en 1878, le Service des Eaux fut placé sous la direction d'Alphand, qui lui donna une nouvelle impulsion.

En 1893 on construisit la dérivation de l'Avre, qui amène par la gravité au réservoir de Saint-Cloud les eaux des sources de la Vigne et de Vernemil (longueur de 102 kilomètres, débit de 80 000 à 110 000 mètres cubes, pouvant être porté dans l'avenir à 150 000) et, en 1900, la dérivation du Loing et du Lunain (90 kilomètres) dont le débit, qui était primitivement de 50 000 mètres cubes, fut porté récemment à la suite de nouveaux captages, à 70 000 mètres cubes et pourra être augmenté sensiblement lorsque les secondes branches des siphons auront été doublées.

La puissance totale des machines installées dans les diverses usines élévatoires du Service des Eaux représente 15 000 chevaux-vapeur.

Les dépenses auxquelles ont donné lieu les diverses opérations relatives

au Service des Eaux depuis 1870, ont fait l'objet de divers emprunts et s'élèvent à 210 millions, dont 50 pour la dérivation de la Vanne, 43 pour celle de l'Avre, 26 pour celle du Loing et du Lunain, 83 pour les usines, réservoirs et canalisations et 8 pour les canaux.

Le Service des Eaux dispose actuellement, par jour, comme eau potable, de 310 000 mètres cubes d'eau de source et de 140 000 mètres cubes d'eau filtrée, et, comme eau non potable, de 600 000 mètres cubes d'eau de rivière brute pour l'alimentation d'une population de 2 920 000 habitants, soit 154 litres d'eau potable et au total 360 litres par habitant. La capacité totale des réservoirs d'eau potable est de 600 000 mètres cubes et celle des réservoirs d'eau brute de 200 000.

Le Service privé et le Service public et industriel sont alimentés par deux réseaux de distribution, absolument indépendants, dont les conduites sont posées, en général, à l'intérieur des égouts et exceptionnellement en terre. Chaque rue est ainsi alimentée par deux conduites parallèles, l'une pour l'eau potable, l'autre pour l'eau de rivière.

Pour les deux natures d'eau, la distribution se fait par zones étagées correspondant aux niveaux des réservoirs régulateurs. Mais on a toujours le moyen de soutenir l'alimentation d'une zone par celle qui est au-dessus, par simple déversement, ou par celle qui est au-dessous, au moyen des usines de relais.

La longueur totale des conduites est d'environ 2 750 kilomètres.

Les travaux en cours pour le captage de nouvelles eaux et l'agrandissement de certaines usines permettront d'augmenter les ressources de 80 000 mètres cubes d'eau potable et de 125 000 mètres cubes d'eau brute. Mais la Ville de Paris se préoccupe d'assurer son alimentation dans des conditions beaucoup plus larges et des études se poursuivent depuis deux ans, en vue de l'adduction d'un million de mètres cubes par jour. Parmi les divers projets présentés, dont l'un prévoit l'adduction des eaux du Rhône avec une prise dans le lac de Genève, celui qui consisterait à emprunter ces eaux dans la nappe des Vals de Loire a seul été retenu. Ce projet doit entraîner une dépense de 300 millions, en y comprenant l'établissement dans la partie amont de la vallée de la Loire de plusieurs réservoirs qui seraient construits à frais communs par la Ville de Paris et par l'État, pour servir à emmagasiner les eaux de crues et les restituer au fleuve pendant les périodes de basses eaux.

Le Service municipal assure directement l'exploitation technique, au point de vue de l'alimentation et de la distribution, mais la gestion financière est confiée, sous forme de Régie intéressée, à la Compagnie Générale des Eaux, en vertu d'un traité de concession qui fut conclu le 11 juillet 1860 et renouvelé, moyennant certaines modifications, le 11 février 1911 : c'est cette Compagnie qui dresse les polices des abonnements, relève les compteurs et reconvre les quittances, moyennant le paiement des primes fixées par le dit traité.

Le prix de l'eau potable est de 0 fr. 35 par mètre cube ; l'eau de rivière brute est vendue d'après un tarif dégressif qui fait ressortir le prix moyen du mètre cube à 0 fr. 16.

En 1913, le montant des dépenses annuelles du Service des Eaux a été de 11 277 711 francs, celui des recettes de 30 734 629 francs.

Service de l'Assainissement.

En 1854, la longueur des égouts de Paris n'était encore que de 155 kilomètres. C'est alors que l'ingénieur en chef Belgrand établit un nouveau programme, pour l'évacuation des eaux usées, en profitant de la grande boucle que forme la Seine, pour rejeter ces eaux bien en aval de Paris, soit à Clichy, soit à Saint-Denis, de manière à éviter la contamination du fleuve dans la traversée de la capitale, et il imagina tout un système de collecteurs généraux et secondaires qui furent mis à exécution successivement. A sa mort, en 1878, la longueur des égouts était de 620 kilomètres; elle est actuellement de 1 686 kilomètres.

En ce qui concerne l'épuration des eaux usées, l'ingénieur Mille présenta, dès 1864, un projet en vue de l'épandage agricole : des essais furent commencés deux ans après, dans la plaine de Gennevilliers, mais ce n'est qu'en 1884 qu'un projet, présenté par l'ingénieur en chef A. Durand-Claye, fut approuvé par le Conseil municipal, et le 4 avril 1889 que ce projet fut sanctionné par une loi autorisant l'épuration des eaux additionnées de matières de vidange, sur 800 hectares de la forêt de Saint-Germain, lesquels formèrent le parc agricole d'Achères.

Ultérieurement, une loi du 10 juillet 1894, en même temps qu'elle rendait obligatoire l'écoulement direct à l'égout dit « Tout à l'égout » et fixait les taxes annuelles auxquelles cet écoulement devait donner lieu, obligea la Ville de Paris, par voie de conséquence, à assurer l'épuration de la totalité de ses eaux d'égout : c'est aux continuateurs de Durand-Claye, MM. Bechmann et F. Launay, Ingénieurs en chef des Ponts et Chaussées, que fut confiée, de 1889 à 1900, l'exécution de ce vaste programme.

Au cours des vingt-cinq dernières années, des travaux considérables ont été exécutés, tant pour compléter le réseau des égouts que pour aménager les installations nécessaires à l'épuration des eaux et à l'assainissement de la Seine. Les plus importants sont (voir les plans page 157) :

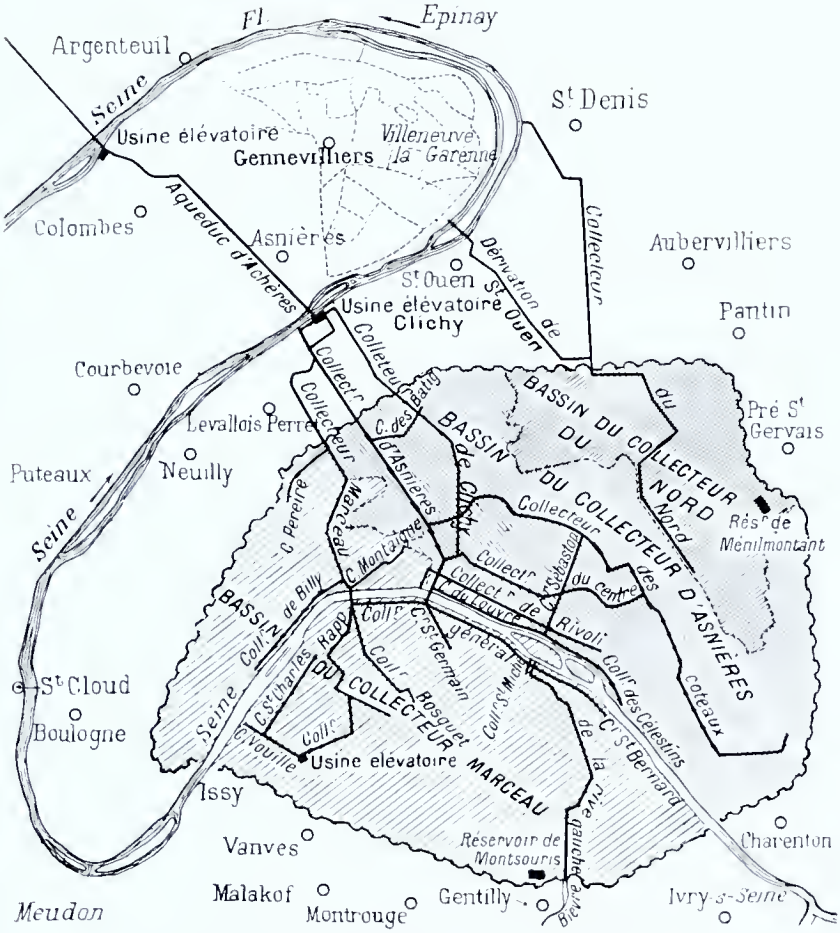
En 1897, la construction d'un second grand siphon, siphon sous la Seine, près du pont de la Concorde, pour amener une partie des eaux de la rive gauche dans le grand collecteur de la rive droite, dit d'Asnières.

De 1895 à 1898, la construction du collecteur de Clichy (largeur entre piédroits 6 mètres, cuvette de 4 mètres sur 2 mètres), qui aboutit, comme les collecteurs Marceau et d'Asnières, à l'usine de Clichy.

Le réseau d'égouts peut être considéré comme à peu près complet aujourd'hui. Il mesure, dans son ensemble, 28 kilomètres de grands collecteurs; 75 kilomètres de collecteurs secondaires; 1 130 kilomètres d'égouts ordinaires de divers types et 453 kilomètres de branchements.

Il est caractérisé par ce fait que toutes les galeries en maçonnerie qui le composent ont des dimensions suffisantes pour qu'on puisse y circuler aisément dans toutes leurs parties. Les sections adoptées permettent, en outre, d'y loger les conduites d'eau, celles d'air comprimé, les câbles télégraphiques et téléphoniques et les tubes postaux pneumatiques.

Les dépenses d'établissement du réseau d'égouts depuis 1870 se sont élevées à 90 millions de francs. De plus, des dépenses, que l'on peut chiffrer approximativement à 45 millions de francs, ont été faites depuis 1898 pour les déviations de collecteurs et de galeries, qui ont été néces-


Argenteuil
Fl.
Epinay
Seine
St Denis
Usine élévatoire
Gennevilliers
Villeneuve la Garenne
Colombes
Aqueduc d'Achères
Asnières
Dérivation de St Ouen
Collecteur
Aubervilliers
St Ouen
Usine élévatoire Clichy
Pantin
Courbevoie
Collecteur
Collecteur
Collecteur
Collecteur
Collecteur
Levallois Perret
Pré St Gervais
Puteaux
Neuilly
Seine
BASSIN DU COLLECTEUR NORD
BASSIN DU COLLECTEUR D'ASNIÈRES
Nord
Rés^r de Ménilmontant
Collecteur
Collecteur
Collecteur
Collecteur
Collecteur

sitées par la construction des lignes de chemin de fer métropolitaines.

Les installations relatives à l'épuration des eaux d'égout et à l'assainissement de la Seine sont toutes postérieures à l'année 1870.

Les collecteurs parisiens aboutissent à l'usine de Clichy où, après avoir déposé dans un bassin de dégrossissage une partie des matières en suspension, elles sont refoulées par des pompes, d'une part sur Gennevilliers, d'autre part, pour la plus grande partie, vers l'usine de Colombes au moyen d'un aqueduc de 3 mètres de diamètre, dit aqueduc d'Achères, qui franchit la Seine par un siphon de 2m30.

L'usine de Colombes, qui est aussi pourvue de bassins de dégrossissage, relève ensuite les eaux à 40 mètres de hauteur, dans des conduites forcées qui leur font traverser une troisième fois la Seine à Argenteuil, au moyen d'un pont métallique. Ces conduites aboutissent à l'origine d'un émissaire général qui se développe sur une longueur de plus de 22 kilomètres, sur la rive droite de la Seine, en se tenant à une cote assez élevée pour dominer la vallée jusqu'à Mantes. Cet émissaire est constitué, sur la plus grande partie de sa longueur, par un aqueduc libre de 3 mètres de diamètre, qui est capable de porter un débit de 9m75 à la seconde. Trois branches secondaires s'en détachent et alimentent les trois régions d'irrigation d'Achères, de Carrières et de Méry-Pierrelaye.

La puissance totale des machines installées dans les usines élévatoires du Service de l'Assainissement est de 12 000 chevaux.

La surface des terrains aménagés en vue de la culture à l'eau d'égout est actuellement de 5 130 hectares, sur lesquels les domaines municipaux représentent 1 800 hectares et le surplus appartient à des particuliers.

La distribution des eaux s'opère, dans chaque région, au moyen d'un réseau de conduites en ciment armé de 0m30 à 1m10 de diamètre et de bouches d'irrigation. En outre, un important réseau de drains assure l'évacuation vers la Seine ou vers l'Oise des eaux filtrées par le sol.

Les eaux sont employées à la dose moyenne de 40 000 mètres cubes par hectare et par an. Les domaines municipaux sont exploités en régie ou loués à des fermiers.

A la suite des expériences d'épuration biologique portant sur les différents systèmes connus, qui ont été poursuivies au Jardin modèle de Gennevilliers, deux installations de ce genre ont été réalisées.

L'ensemble des dépenses faites pour la construction des usines, aqueducs, canalisations, pour l'acquisition des domaines municipaux et l'aménagement des diverses régions d'irrigation, atteint actuellement 52 millions de francs. Les installations permettent d'épurer 600 000 à 700 000 mètres cubes d'eau d'égout par jour.

L'œuvre accomplie par la Ville de Paris, en vue d'assurer l'épuration de ses eaux usées, doit être continuée par suite de l'accroissement continu de la consommation. De nouveaux travaux, dont l'ensemble s'élèvera à 25 millions de francs, sont en cours d'exécution.

Les dépenses annuelles d'entretien et d'exploitation du réseau d'égouts et du Service de l'Assainissement de la Seine atteignent 9 680 000 francs et sont en grande partie compensées par les recettes de ces services, qui proviennent de l'application de la taxe imposée pour le tout-à-l'égout, en vertu de la loi du 10 juillet 1894, et s'élèvent à 7 950 000 francs.

The water supply and drainage of the city of Paris.

These services are managed by the same engineer, Mr Colmet-Daâge, assisted by Mr Baratte, both Chief Engineers of the Ponts et Chaussées.

Water supply.

Thanks to the work initiated by its prefect, Baron Haussmann, and its chief engineer, Mr Belgrand, and carried out from 1860 onwards, the city of Paris already had in 1870 a water supply amounting to 26 U. S. gals (100 liters) per head of population per day; it is now 79 gallons (300 liters).

Up to 1870 the supply was drawn from the following four sources:

From the rivers Seine and Marne by means of pumps, from the Ourcq canal, cut under the first Empire, and from the Dhuis, whereby since 1866 some 3 900 000 to 5 300 000 gallons (15 000 to 20 000 cubic meters) per day are supplied to the Ménilmontant reservoir (see plan, page 157) by means of a pipe line 82 miles (131 kilometers) long.

The supply from the river Vanne, brought a distance of 108 miles (173 kilometers) was completed in 1874. Since 1885, when this was increased by pumping from several lower springs, 31 700 000 gallons (120 000 cubic meters) are delivered daily at the Montsouris reservoir.

Between 1883 and 1887 new pumping stations were installed for pumping Seine water for public purposes, and somewhat later filter beds of various construction were installed for rendering water from the Seine and the Marne fit for domestic use by means of sterilisation. At the same time the use of a double supply, for domestic and public use, was actively pursued and water-meters were supplied to consumers, who had hitherto paid a water-rate or been supplied by means of a water-gauge.

On the death of Mr Belgrand in 1878 the Water Department was placed under the management of Mr Alphand, who brought new energies to bear on the matter.

In 1895 the Avre supply was constructed, whereby some 21 100 000 to 29 000 000 gallons (80 000 to 110 000 cubic meters), capable of being raised later on to 39 000 000 gallons (150 000 cubic meters), were brought 64 miles (102 kilometers) by gravity from the Vigne and Verneuil springs to the Saint-Cloud reservoir. Further in 1900 water was brought from the rivers Loing and Lunain 56 miles (90 kilometers): the amount was originally 13 000 000 gallons (50 000 cubic meters), but this has been recently augmented to 18 500 000 gallons (70 000 cubic meters), and, as soon as certain siphons have been doubled, the supply will become greater still.

The pumps of the Water department develop 15 000 HP at the present time.

210 millions of francs ($ 42 000 000) have been spent by the Water Dept since 1870 and this sum, raised by loans, was allocated as follows:

50 million francs ($ 10 000 000) for the Vanne supply;

43 million francs ($ 8 600 000) for the Avre supply;

26 million francs ($ 5 200 000) for that of the Loing and the Lunain;

83 million francs ($ 16 600 000) for pumping stations, reservoirs and mains;

8 million francs ($ 1 600 000) for the canals.

The Water dept has daily at its disposition :

Spring water, 81 900 000 gallons (310 000 cubic meters);

Filtered water, 37 000 000 gallons (140 000 cubic meters);

Unfiltered, non-drinkable water, 158 000 000 gallons (600 000 cubic meters); for the needs of a population amounting to 2 920 000 persons, or, say, 95 gals (360 liters) of water per head, of which 40 gals (150 liters) are drinkable.

The reservoirs for drinking water have a capacity of 158 000 000 gallons (600 000 cubic meters) and those for unfiltered water, of 53 000 000 gallons (200 000 cubic meters).

Two distinct mains, one for domestic use and the other for public and industrial purposes, are run chiefly in the sewers and only exceptionally buried in the soil. Each street has therefore two parallel supplies.

Both services are grouped into zones corresponding to the height of their respective regulating reservoirs. Provision is invariably made for one zone to be supplied in case of need from the zone above it by gravity, or from that below it by means of auxiliary pumping stations.

The total lenght of mains is about 1 720 miles (2 750 kilometers).

The works in hand for the impounding of further sources of supply and for the enlarging of certain stations will lead to an increase of 21 000 000 gallons (80 000 cubic meters) of drinking, and of 33 000 000 gallons (125 000 cubic meters) of unfiltered water.

But the city of Paris is engaged in assuring a very much larger supply and during the last two years projects have been studied with the view of adding 260 000 000 gallons (1 000 000 cubic meters) per day. Among the various projects, including that for taking the water of the Rhone from the lake of Geneva, only one, — that of the valley of the Loire, — has been seriously considered. This installation would cost 300 million francs ($ 60 000 000) including the providing of several impounding reservoirs in the upper valley of the Loire. These reservoirs would also serve to regulate the flow of the river, which is at present very capricious, and their cost would be borne partly by the city of Paris and partly by the Government.

All technical arrangements for the supply and distribution of the water is in the hands of the City Water dept., but financial matters, such as agreements for water-rents, reading of the meters and payment of rents is in the hands of the Compagnie Générale des Eaux in accordance with an agreement dated July 11 1860, and renewed with some modifications on February 11 1911. This Company pays the city a certain percentage of the rents.

The charge for drinking water is fixed at 0 fr. 35 per cubic meter ($ 0.26; 12 3/4 d. per 1 000 gallons); river water is sold according to a varying rate which comes out at an average at 0 fr. 16 per cubic meter ($ 0.12; 6 d.).

In 1913 the cost of the Water service was 11 277 711 francs ($ 2 255 542; and the receipts amounted to 30 734 629 francs ($ 6 146 926).

Drainage.

In 1854 the length of the Paris sewers was only 97 miles (155 kilometers). At this epoch the Chief Engineer of the city, Mr Belgrand, established a new scheme of drainage which utilised the great bend made by the Seine and placed the outfalls well below Paris at Clichy or Saint Denis, thus avoiding all contamination of the river within the city precincts. He laid out a complete system of main and branch sewers, which were gradually carried out. At his death in 1878, the total length of the sewers was 387 miles (620 kilometers) : it is now 1 054 miles (1 686 kilometers).

As regards the purifying of the waste water Mr Mille, an engineer, proposed in 1864 a scheme for a sewage farm. Two years later trials were made on the plain of Gennevilliers, but it was only in 1884 that a scheme got out by the chief engineer, Mr A. Durand-Claye, was approved by the City Council and duly authorised by the law of April 4 1889, whereby the purification of waste water, together with actual house-sewage, was authorised on 1 976 acres (800 hectares) of the forest of Saint Germain, known as the agricultural park of Achères.

Finally a law passed on July 10 1894 rendered obligatory the connection of all house property with the sewers and fixed the sewer rate, thereby compelling the City Authorities to undertake the purification of all sewage and waste water. The execution of the whole of this vast programme was undertaken between 1889 and 1900 by the successors of Mr Durand-Claye, Messrs Bechmann and F. Launay, both Chief Engineers of the Ponts et Chaussées.

In the course of the last 25 years considerable schemes have been carried out either for completing the system of sewers or purifying the sewage or improving the sanitary condition of the river Seine. The most important (see plans, page 157) are :

In 1897 the construction of a second large siphon under the Seine near the Concorde bridge to bring a part of the sewage from the left bank of the river to the great Asnières collecting sewer on the right bank.

Between 1895 and 1898 the construction of the Clichy collecting sewer 19 ft. 8 ins. (6 meters) between the side-walls, with a channel 13 ft. 1 ins. (4 meters) by 6 ft. 6 1/2 ins. (2 meters), which, together with the collectors Marceau and Asnières, debouches at the Clichy station.

The system of sewers may now be considered as practically complete. It is made up as follows : 17 1/2 miles (28 kilometers) of large collectors : 47 miles (75 kilometers) of auxiliary collectors : 706 miles (1 130 kilometers) of sewers of various types, and 283 miles (453 kilometers) of branches.

An outstanding feature of the masonry sewers is that they are all built with pathways so as to admit of easy access to all parts. Furthermore the section is such as to allow of the running of the water and compressed air mains, the telegraph and telephone cable and the mains for the pneumatic dispatch of correspondence.

Since 1870 the cost of this drainage system has amounted to 90 million francs ($ 18 000 000). Over and above this sum some 45 million francs ($ 9 000 000) have been spent since 1898 in order to carry out new

alignments rendered necessary by the construction of the Metropolitain Railway.

All the installations for purifying the sewage and improving the condition of the Seine have been carried out since 1870.

The Parisian collecting sewers debouch at the Clichy pumping-station, whence, after having deposited a part of their suspended matter they are pumped partly to Gennevilliers, but chiefly to the Colombes pumping-station through an aqueduct 9 ft. 10 ins. in diameter (3 meters), known as the Achères aqueduct, and which crosses the Seine by means of a siphon of 7 ft. 6 1/2 ins. (2^m 30) in diameter.

The Colombes station which is also provided with settling reservoirs, lifts the sewage another 131 ft. (40 meters) and it traverses the Seine a third time at Argenteuil, but this time in mains under pressure supported by a girder bridge. These mains conduct the sewage to a general irrigating channel, running for more than 14 miles (22 kilometers) on the right bank of Seine at such a height as to dominate the valley up to Mantes. This irrigating channel consists for most of its length of an open aqueduct 9 ft. 10 ins. (3 meters) in diameter and is capable of delivering 2 576 gallons (9^{m3} 75) per second.

It has three branches supplying the farms at Achères, Carrières and Méry-Pierrelaye respectively.

The total power of the pumping machinery of the Sewer Dept amounts to 12 000 HP.

The sewage farms cover in all 12 671 acres (5 130 hectares) but only 4 448 acres (1 800 hectares) belong to the city, the rest being in the hands of private persons.

In each irrigation district the sewage is distributed by means of a network of channels in reinforced concrete of from 1 ft. (0^m 30) to 3 ft. 8 ins. (1^m 10) in diameter furnished with sluices. Further, an important network of drains conducts the effluent, after it has percolated through the soil, into the Seine or the Oise.

Each acre of ground absorbs on an average 4 277 000 gallons of sewage per annum (40 000 cubic meters per hectare). The city farms are cultivated according to a fixed tariff or sub-let to farmers.

After experimenting at the model garden at Gennevilliers with different known systems of bacteriological purification, two installations of this kind have been established.

The total expense incurred in the construction of pumping-stations, aqueducts, piping and canals, and in the purchase of the City domains and the laying out of the irrigation system now amounts to 52 million francs ($ 10 400 000). From 158 000 000, to 185 000 000 gallons (600 000 to 700 000 cubic meters) of sewage can be dealt with per day.

The work of sewage purification undertaken by the city of Paris is increasing owing to the continuous increase in water consumption, and additional works to the value of 25 million francs ($ 5 000 000) are already in hand.

The annual cost of the running and upkeep of the City Sewer Dept. reaches 9 680 000 francs ($ 1 936 000) and is to a large extent covered by the sewer rate authorised and amounting to 7950000 francs ($ 1 590000).

La Tour Eiffel.

La Tour de 300 mètres, dite Tour Eiffel, du nom de son constructeur, est certainement le monument moderne qui a produit la plus grande impression sur la foule, non seulement parce que c'est le plus haut que l'homme ait jamais élevé, mais aussi à cause de la légèreté de sa constitution et de la facilité avec laquelle on peut être, très rapidement, transporté à son sommet. C'est aussi, au point de vue de l'art de l'ingénieur, un ouvrage très remarquable, pour lequel on a eu à résoudre des problèmes particulièrement délicats.

Cette tour a été édifiée à Paris, à l'occasion de l'Exposition Universelle de 1889, par M. Eiffel. Les études définitives en ont été faites sous sa direction d'après un avant-projet qui lui avait été soumis par MM. Nougnier et Koechlin, ingénieurs de sa maison, assistés de M. Sauvestre, architecte.

Sa hauteur est de 300 mètres mesurés du niveau du sol au sommet, qui est ainsi à 334 mètres au-dessus du niveau de la mer. Elle repose sur quatre pieds distants de 103 mètres, d'axe en axe, et présentant la forme d'un carré de 15 mètres de côté ayant à chacun de ses angles une membrure reposant sur un appui en fonte et en acier coulé. Les appuis de la tour sont ainsi au nombre de seize; ils sont en deux pièces s'emboîtant l'une dans l'autre et laissant intérieurement une chambre dans laquelle il serait possible, si un tassement se produisait, d'introduire un vérin hydraulique de 800 tonnes permettant de relever un appui. Chacun des seize appuis porte sur un massif de maçonnerie descendu jusqu'au terrain solide.

Dans sa hauteur, la tour est divisée en trois étages situés : le premier à $57^{m}63$ au-dessus du sol, le deuxième à $115^{m}73$ et le troisième à $276^{m}13$. Les quatre pylônes qui constituent l'ossature de la Tour dans la partie inférieure s'élèvent en courbe concave extérieurement jusqu'au deuxième étage, où ils se réunissent pour n'en former qu'un seul qui se continue jusqu'au sommet. Chacun des étages est constitué par des poutres formant ceinture et permettant l'établissement des planchers des plates-formes et des galeries circulaires servant à la fois de promenoirs et de motifs décoratifs.

La forme de la tour est donnée par des considérations théoriques de résistance au vent. Aux efforts que donne le vent qui frappe les différentes parties de la construction, correspond une ligne de pression. C'est cette ligne de pression que suivent les pylônes de la base et les membrures de l'ossature.

Les moteurs et les machines nécessaires sont installés dans le sous-sol de l'un des piliers.

Le montage de la Tour s'est fait au moyen de quatre grues à grandes volées construites pour s'élever sur les chemins de roulement incliné des ascenseurs: à partir du deuxième étage, deux de ces grues ont été transformées pour s'élever verticalement.

En 1889, pour l'Exposition Universelle, le service d'ascension était

assuré par quatre ascenseurs, qui suivaient la courbe des piliers à l'intérieur de ceux-ci jusqu'au deuxième étage; au-dessus, un ascenseur vertical permettait, avec un relai à mi-distance, de franchir la hauteur de 160 mètres qui sépare la deuxième de la troisième plate-forme. Ce dernier pouvait, en faisant six voyages à l'heure, monter 600 personnes au sommet de la tour, tandis que les autres étaient capables, dans le même temps, de monter 2 500 visiteurs à la première ou à la deuxième plate-forme.

Actuellement il n'y a plus, dans la partie inférieure, que deux ascenseurs montant au deuxième étage et un troisième s'arrêtant au premier; dans la partie supérieure, l'ascenseur vertical subsiste.

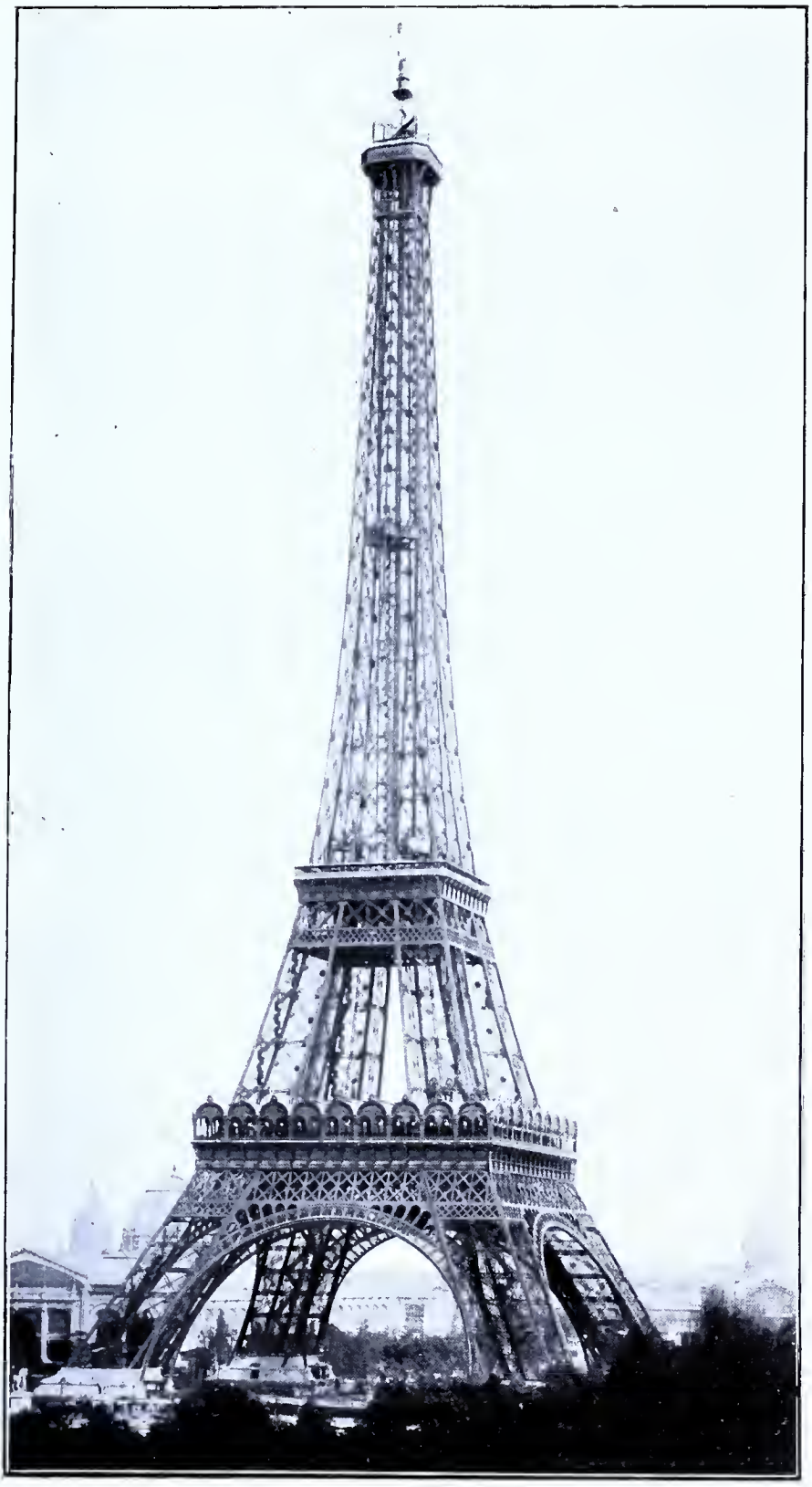
Le poids total de la construction métallique est de 7 500 tonnes environ. En y ajoutant le poids des installations diverses, on arrive à un poids total de 10 000 tonnes. On compte approximativement : 3 500 tonnes jusqu'au premier étage, 1 000 du premier au deuxième étage, 2 000 du deuxième au troisième, et 500 pour l'extrémité et le campanile. Le nombre des rivets dépasse 2 millions. La dépense s'est élevée à 6 500 000 francs et le constructeur a reçu pour sa rémunération une subvention de 1 500 000 francs sur les crédits de l'Exposition de 1889 et le droit d'exploiter la tour pendant vingt ans encore après le 1er janvier 1890, délai au bout duquel la remise de la tour, en bon état d'usage et d'entretien, devait être faite à la Ville de Paris.

A l'approche de ce terme, la question de la conservation de ce monument a été vivement discutée; mais en raison de l'intérêt et de l'utilité qu'il présente, la concession en a été prorogée jusqu'au 1er janvier 1926, moyennant le paiement de redevances à la Ville de Paris par la Société de la Tour.

La Tour Eiffel a, en effet, été utilisée et elle continue à rendre d'importants services pour des observations scientifiques, des études et des applications présentant le plus grand intérêt. En raison de sa hauteur, le rayon de visibilité atteint 60 à 85 kilom. au niveau du plancher supérieur : la tour peut ainsi être avantageusement employée pour faire des signaux de télégraphie optique.

Elle constitue également un observatoire météorologique précieux et les recherches expérimentales faites à la tour par M. Eiffel, sur la chute des corps et la résistance de l'air à leur mouvement, ont fourni des renseignements très utiles pour l'aviation. Enfin, grâce à cette construction, la télégraphie sans fil peut disposer d'une antenne de hauteur sans pareille, qui lui permet de communiquer directement avec le nouveau continent depuis 1907 et qui a fait choisir la tour comme poste central de l'heure astronomique mondiale. On peut ajouter qu'elle rend actuellement, pendant la guerre, d'immenses services au point de vue des communications internationales.

On a constaté que, sous l'influence du vent et du soleil, son sommet était soumis à des déplacements horizontaux pouvant atteindre 0m 24, mais qui n'affectent en rien sa stabilité. Pendant la crue exceptionnelle de la Seine en janvier 1910, l'eau a atteint 4m 30 dans les locaux contenant la machinerie de chaque pilier sans qu'il en soit résulté aucun inconvénient.



La Tour Eiffel : hauteur, 300 mètres.
The Eiffel Tower : Height 300 meters (985 feet).

The Eiffel Tower.

The 300 meters tower, called the Eiffel Tower, after the name of its constructor, has certainly made more impression on the crowd than any other modern edifice, not only because it is the highest that man has ever built but also on account of its light construction and the facility with which one can be very rapidly transported to its summit. It is also, from the point of view of engineering science, a very remarkable structure, the design of which necessitated the solving of particularly delicate problems.

This tower, as everyone knows, was constructed, for the Paris 1889 Universal Exposition, by Mr Eiffel. The final designs were prepared under his direction, from a preliminary design submitted to him by his engineers, Messrs Nougnier and Koechlin, assisted by Mr Sauvestre, architect.

The height of the tower is 300 meters, measured from the ground level to the summit, which is, thus, 334 meters above the sea level. It stands on four steel pillar structures or legs, their distance from centre to centre being 103 meters and each leg forms a square with 15 meter sides, there being in each one of its angles a member resting upon sole plates in cast iron and in cast steel. The supports for the tower are thus sixteen in number and are in two pieces, fitting one into the other, leaving an inner space into which it would be possible, if any sinking occurred, to place an 800 tons hydraulic jack to allow of raising a support. Each of the sixteen supports bears on a masonry base which is carried down to firm soil.

The tower is divided into three platforms, the first at $57^{m}63$ above the ground, the second at $115^{m}73$, and the third at $276^{m}13$. The four legs comprising the steel structure of the tower at the lowest part, rise in an outer concave curve to the second story, where they meet and form one, continuing thus to the summit. Each story comprises girders framing the structure and carrying the floors, platforms and galeries all round, for both decorative and promenade purposes.

The form of the tower corresponds to theoretical considerations connected with wind forces. A line of pressure corresponds to the wind forces on the different parts of the structure. It is this line of pressure which the legs at the base and the other members of the structure follow.

The necessary engines, motors and machinery are located in the basement of one of the legs.

The erection of the tower was carried out by four long swing cranes or derricks so constructed as to follow up the inclined railway built for the lifts. Two of the cranes were modified when the second story was reached to allow of their being raised vertically.

For the Universal Exposition in 1889 there was a service of four lifts, which followed the curves inside the legs to the second story; above this, a second vertical lift allowed, with a relay half way up, of clearing the

height of 160 meters, which separates the second from the third platform. This last mentioned lift could, when making six journey per hour, take up 600 persons to the top the tower, the other lifts being capable, at the same time, of conveying 2 500 visitors up to the first or second platforms.

At present, there are only two lifts in the lower part of the tower mounting to the second story and a third stopping at the first. In the upper part, the vertical lift is still in operation.

The total weight of the structure is about 7 500 tons. If the weights of divers installations are added, a total of 10 000 tons is reached. An approximate calculation allows for 3 500 tons up to the first story, 2 000 from the second to the third and 500 tons for the extreme top and the campanille. The number of rivets exceeds two million. The cost of the tower was 6 500 000 francs and the constructor received for his remuneration a subvention of 1 500 000 francs from the credit allowed for the 1889 Exposition and the sole rights of the tower for a period of 20 years more after the 1st January, 1890, at the end of which time the tower was to be handed over to the town of Paris in good condition and working order.

Upon the approach of the expiration of this arrangement, the question of conserving this monument was discussed at length, but on account of its interest and its recognised utility, the concession has been extended to the 1st January, 1926, in return for a rent, to be paid to the town of Paris by the Eiffel Tower Society.

The Eiffel Tower has, indeed, been of use and will continue to be of considerable utility for scientific study and certain experiments of the greatest interest. On account of the height, visual observation is extended to a distance of 60 to 85 kiloms, on the level of the upper platform. The tower can thus be used for making optical telegraphic signals.

The tower is also useful as a valuable meteorological observatory, and the experimental research work done by Mr Eiffel in connection with falling bodies and the resistance opposed to their movements by the air has supplied very useful information in connection with the science of aviation, and thanks to this structure, wireless telegraphy is able to profit by an antennal of a height unequalled by any other, which allows of direct communication with the new continent since 1907 and to which is due the choice of the tower as a central post for the astronomical hour of the whole world. During the present war, it as been very useful for international communications.

It has been ascertained that under the influence of wind and rain, the summit of the tower is subject to a horizontal displacement of as much as 0.24 meter, but which does not affect its stability in any way. During the exceptional rising of the Seine and the consequent floods in January 1910, the water rose to 4.30 meters in the machinery and engine rooms in the basement of each leg, without any inconvenience being experienced.

Travaux exécutés par des Français à l'étranger.

Ainsi que cela a été annoncé en tête de ce volume, il n'est pas question de faire ici un inventaire des travaux exécutés par les ingénieurs français à l'étranger depuis 1870, mais simplement d'en montrer quelques exemples choisis parmi les plus caractéristiques.

Canal de Suez.

Parmi les œuvres dont peut, à juste titre, s'enorgueillir le Génie français, il faut citer en première ligne le Canal de Suez, ouvert en 1869, et qui a depuis été l'objet de très importantes améliorations.

La construction du Canal Maritime de Suez a été commencée le 25 avril 1859, d'après le projet établi, sur les indications de Ferdinand de Lesseps, par Linant et Mongel, ingénieurs français au service du Vice-Roi d'Égypte. Les principaux entrepreneurs, également français, ont été MM. Couvreux, Dussaud, Borel et Lavalley.

L'outillage, très rudimentaire du début, s'améliora par la suite. D'une part, on créa de grandes dragues, munies de couloirs permettant le dépôt direct des déblais sur les berges, et dont la réalisation fut obtenue par la collaboration de MM. Borel et Lavalley et de la Société des Forges et Chantiers de la Méditerranée. D'autre part, M. Couvreux installa sur ses chantiers des excavateurs à vapeur, déversant les déblais dans des wagons les transportant à la décharge.

L'inauguration du canal eut lieu le 17 novembre 1869, et à cette époque la largeur au plafond était de 22 mètres, à 8 mètres de profondeur.

Comme le montre le plan, page 170, il traverse des terrains bas et des lacs, de sorte que, malgré une longueur de 164 kilomètres, le cube total des déblais extraits au moment de l'ouverture n'avait été que de 74 millions de mètres cubes. La dépense totale à cette date s'élevait à 415 800 000 francs, y compris les frais généraux, les dépenses d'administration et les charges sociales pendant la durée de la construction.

Les travaux de premier établissement ne furent complètement terminés qu'en 1875, et aussitôt après la Compagnie se préoccupa d'apporter à son œuvre les améliorations nécessaires pour la tenir au courant des progrès de la navigation et de l'augmentation du tonnage des navires. En 1884, elle réunit une Commission technique Internationale afin de lui demander conseil sur les mesures à prendre à cet effet, et, sur son avis, elle entreprit l'approfondissement général du canal jusqu'à 9 mètres et un élargissement portant la largeur du plafond, sous 8 mètres de profondeur d'eau, à 37 mètres, travaux qui furent achevés en décembre 1898.

Entre temps, la Compagnie avait organisé la navigation de nuit. Les navires transiteurs recevaient à cet effet, pour la traversée du canal, un projecteur électrique éclairant la route à suivre. Le système fut ensuite complété par l'installation de feux à terre, repérant les grands alignements du canal, et de bouées lumineuses indiquant les courbes.

Cette amélioration permit de réaliser la réduction à 24 heures de la durée du transit. Grâce aux travaux exécutés, le transit des navires calant jusqu'à 8 mètres put être autorisé dès le 1er janvier 1902, et le croisement des navires, l'un en route, l'autre arrêté, fut permis sur presque toute la longueur du canal.

En 1908, on avait réalisé une profondeur de 10 mètres sur toute la longueur du canal, et douze élargissements-gares de 15 mètres de surlargeur (45 mètres de largeur au plafond) avaient été creusés pour le croisement des navires de grandes dimensions. Cependant, en présence du tonnage toujours croissant des navires, on décida de nouveaux travaux devant amener à 45 mètres la largeur minimum du canal et à 11 mètres sa profondeur. Ces travaux, actuellement terminés, ont permis, à partir du 1er janvier 1915, d'autoriser le transit des navires calant 9m 14 (30 pieds anglais).

Un nouveau programme d'amélioration, adopté en 1912 et déjà exécuté en partie, comporte d'autres élargissements et un approfondissement général jusqu'à 12 mètres. Le profil en travers de la page 170 rapproche une section théorique du canal, au moment de l'inauguration, en 1869, de la section correspondante actuelle, et indique également la section réalisée après achèvement du programme en cours.

La Compagnie a dû, en outre, se préoccuper de maintenir des profondeurs convenables dans les passes d'accès du canal, et, pour y parvenir, elle a dû prolonger la jetée ouest de Port-Saïd jusqu'aux fonds de 10 mètres, soit sur une longueur de 2 500 mètres, la longueur totale étant ainsi portée à 5 000 mètres. La longueur de la jetée Est reste maintenue à 2 400 mètres.

Une voie ferrée relie Port-Saïd à Ismaïlia et de là au réseau égyptien.

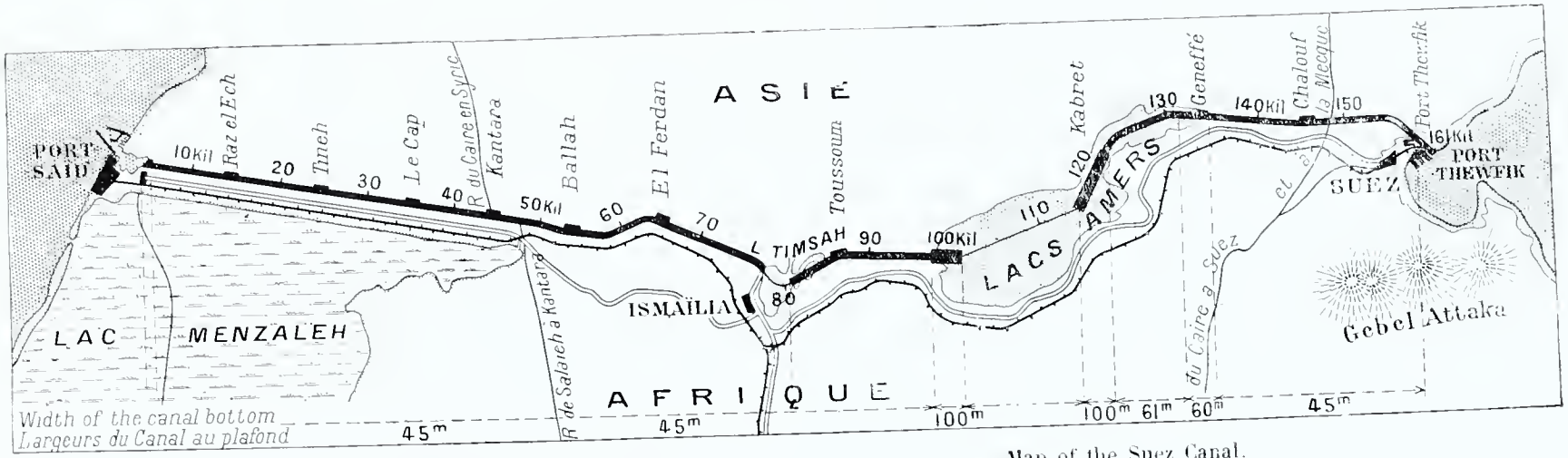
Des canaux d'eau douce ont été créés amenant l'eau du Nil du Caire à Ismaïlia, et de là à Port-Saïd, d'une part, et à Suez de l'autre. La longueur totale de ces canaux est d'environ 292 kilomètres.

Les dépenses effectuées depuis 1869 pour l'amélioration du canal se sont élevées à 264 millions, ce qui porte à 679 500 000 francs le chiffre total, arrêté à la date du 31 décembre 1913, des dépenses de construction et d'amélioration du canal. Le cube des déblais extraits de 1869 à 1913 s'est élevé à 184 millions de mètres cubes, dont 97 millions pour l'amélioration et 87 millions pour l'entretien.

Transit du Canal maritime de Suez de 1870 à 1913.

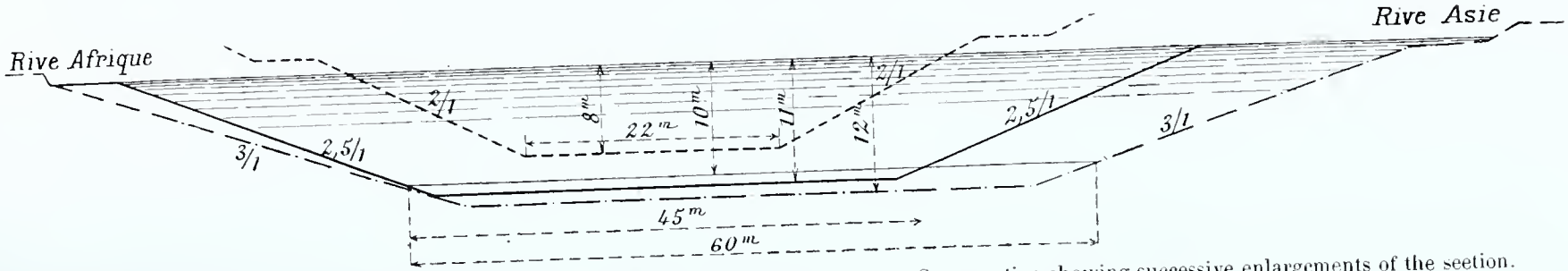
Années.	Nombre de traversées.	Tonnage net.	Recettes.	Durée du séjour des navires dans le canal.
—	—	—	—	—
		tonnes.	francs.	h. m.
1870.	486	436 609	4 345 758	48 5
1880. . . .	2 026	3 057 422	36 492 620	38 46
1890.	3 389	6 890 094	65 427 230	24 6
1900.	3 441	9 738 152	87 278 481	18 32
1910.	4 533	16 581 898	127 203 295	16 54
1913.	5 085	20 033 884	122 989 367	16 19

Pendant cette période, le droit de passage, qui était au début de 13 francs par tonneau de jauge, a été progressivement réduit au point de n'être plus, depuis le 1er janvier 1913, que de 6 fr. 25.



Plan d'ensemble du canal de Suez.

Map of the Suez Canal.



Profil en travers montrant les agrandissements successifs de la section du canal.

Cross section showing successive enlargements of the section.

Engineering Work done by Frenchmen Abroad.

As mentioned at the commencement of this volume, it is not our intention to make an inventory here of the work done by French engineers abroad since 1870, but simply to show a few chosen characteristic examples of same.

The Suez Canal.

Amongst those undertakings of which French genius has most reason to be proud, the Suez Canal, opened in 1869, should take first rank, and which has, since that time, been greatly improved.

The construction of the Maritime Canal of Suez was commenced on the 25th April 1859, in accordance with the accepted project, following the advice of Ferdinand de Lesseps, by Linant and Mongel, French engineers in the service of the Viceroy of Egypt. The principal contractors, also French, were Messrs Couvreux, Dussaud, Borel et Lavalley.

The very rudimentary plant at the commencement was improved as the work proceeded. Large dredgers were designed, provided with troughs for the transport and depositing of the excavated soil directly on the banks, the employment of which was due to the collaboration of Messrs Borel and Lavalley and the Société des Forges et Chantiers de la Méditerranée. On the other hand, Mr Couvreux introduced the steam navy into the works, which allowed of discharging the excavated soil into the trucks carrying it away.

The opening of the canal took place on the 17th November 1869, and at that time, the width of the bed was 22 meters at 8 meters depth.

As shown on the plan, page 170, it crosses low ground and lakes so that, in spite of the length of 164 kilometers, the total quantity excavated at the time of the opening had only been 74 million cubic meters. The total outlay up to that date was 415800000 francs, including general and other expenses during the building.

The primary work of building the canal was not completed until 1875, and soon after, the Company commenced to carry out all the improvements necessary to keep pace with the progress of navigation and the increased tonnage of ships. In 1884, the Company called together an International Technical Commission in order to seek advice concerning the measures necessary in that connection, and, following same, it undertook to increase the depth of the canal to 9 meters and also to increase the width, at a depth of 8 meters, to 37 meters, work which was finished in 1898.

During this time, the Company had arranged for a night service of navigation. The ships passing through were, for that surpose, supplied with a searchlight to show which route to follow. The arrangements were

completed by a system of lighthouses on land showing the principal alignments of the canal and by floating buoy lights showing the bends. This improvement allowed of reducing the transit to 24 hours.

It is owing to this work being carried out that the crossing through of ships having 8 meters draught, one steaming and the other stopped, was possible through nearly the whole length of the canal.

In 1908, a depth of 10 meters had been reached on the whole length of the canal and twelve crossing stations of 15 meters extra width (45 meters width on the bed of canal) had been excavated for the crossing of large steamers. In vue, however, of the constantly increasing tonnage of ships, it was decided upon to carry out new works in order to increase the width of the canal to 45 meters minimum and the depth to 10 meters. This work, now finished, has allowed ships of 9m 14 draught (30 feet), to pass through the canal.

A new improvement scheme, adopted in 1912, and already partly carried out, comprises other increases of width and a depth throughout of 12 meters. The profile across page 170 allows of comparing the theoretical section of the canal at the time of its opening in 1869 with the corresponding section of the canal at the present time and also shows the completed section after the present work is carried out.

The Company has also had to occupy itself with maintaining the proper depths at the entry of the canal, and to accomplish this, it was necessary to increase the length of the West jetty of Port-Saïd so as to carry it into a depth of water of 10 meters, or to a length of 2500 meters, the total length being thus carried to 5000 meters. The length of the East jetty now remains at 2 400 meters.

A railway connects Port-Saïd with Ismaïlia, thence to the Egyptian line.

Fresh water canals have been cut to bring the Nile water from Cairo to Ismaïlia and thence to Port-Saïd and to Suez. The length of these canals is about 292 kilometers.

The expenditure since 1869 for the improvements of the canals is 264 million, which makes a total of 679 500 000 francs to the 31st december 1913, for the building and improvements of the canal.

The excavations made from 1869 to 1913 amount to 184 million cubic meters, of which 97 million for improvements and 87 million for keeping in repair.

Suez Canal transit from 1870 to 1913.

Years.	Number of crossings through.	Nett tonnage.	Receipts.	Length of stay of ships in the Canal	
—	—	—	— francs.	— h.	m.
1870.	486	436 609	4 345 758	48	5
1880.	2 026	3 057 422	36 492 620	38	46
1890.	3 389	6 890 094	65 427 230	24	6
1900.	3 441	9 738 152	87 278 481	18	32
1910.	4 533	16 581 898	127 203 295	16	54
1913.	5 085	20 033 884	122 989 367	16	19

During this time the right of passage, which was at first charged for at the rate of 13 francs per ton displacement, was progressively reduced, so that since the 1st January 1913, it is only 6 francs 25.

Le Canal de Panama.

Si le mérite d'avoir achevé le Canal interocéanique et les bénéfices qu'il doit procurer appartiennent, désormais, aux États-Unis, il est néanmoins incontestable que la gloire d'avoir osé entreprendre cette œuvre grandiose, et réalisé la partie la plus délicate et la plus ingrate de son exécution, revient aux ingénieurs français. Sans méconnaître l'habileté des ingénieurs américains qui ont su mener l'œuvre à bonne fin, il est juste de rappeler ici quelle a été la tâche accomplie par les Français qui en ont eu l'initiative et de montrer le degré d'avancement auquel ils avaient amené l'entreprise au moment où le Gouvernement des États-Unis en prit possession.

L'idée du percement de l'isthme de Panama avait été énoncée aussitôt après la constatation faite que cette jonction des deux Amériques n'était interrompue par aucune coupure naturelle réunissant les deux Océans. Un décret de Charles-Quint de 1534 aurait même prescrit de rechercher un point favorable pour la création d'une voie artificielle remplissant ce but, mais aucune suite ne fut donnée à cette idée, pas plus qu'à celle du même genre émise, en 1600, par le français Samuel de Champlain.

Ce n'est qu'au commencement du XIXe siècle que l'idée de la création d'un canal interocéanique fut envisagée avec quelque précision et, tandis que les États-Unis portaient leur attention vers la création d'une voie passant par le Nicaragua, une Compagnie française obtenait de la République de la Nouvelle-Grenade, en 1838, une concession pour la construction d'un canal à travers l'isthme de Panama. Cette Compagnie, dite franco-grenadine, réussit à intéresser à cette entreprise le ministre Guizot qui envoya, pour l'étudier, un Ingénieur en chef au Corps des Mines, Napoléon Garella. Après une sérieuse exploration de l'isthme, cet ingénieur dressa un projet de canal à écluses très remarquable pour l'époque, et qui fut soumis, en 1845, à l'examen d'une commission d'Inspecteurs généraux des Ponts et Chaussées. Cette commission ayant émis l'avis que l'œuvre était au-dessus des forces d'une Société privée et qu'elle ne pouvait être entreprise qu'avec le concours des puissances maritimes intéressées, le projet fut abandonné.

En 1876, la Société de Géographie commerciale de Paris constitua, pour étudier le problème, un comité de notabilités scientifiques présidé par Ferdinand de Lesseps et, en même temps, une Société civile envoya dans l'isthme une mission chargée d'une exploration approfondie. Cette mission, dirigée par deux officiers de la Marine française, MM. Bonaparte Wyse et Armand Reclus, examina plusieurs tracés et, après deux années d'études, M. Wyse obtint, en mai 1878, du Gouvernement de Colombie, la concession d'un canal à ouvrir dans ce pays.

Ferdinand de Lesseps ayant convoqué, le 15 mai 1879, un « Congrès international d'Études du Canal interocéanique », ce Congrès eut à examiner une dizaine de projets, mais deux seulement retinrent son attention : celui par Colon et Panama, dit projet Wyse et Reclus, et celui par le Nicaragua soutenu par les ingénieurs américains Lull et Menocal. A une très grande majorité, le Congrès adopta le premier, qui avait l'avan-

tage d'être à niveau constant, tandis que le second comportait forcément un certain nombre d'écluses.

Aussitôt après la clôture du Congrès, Ferdinand de Lesseps entreprit la formation d'une Société pour l'exécution du projet Wyse et Reclus et, le 8 décembre 1879, âgé déjà de plus de 74 ans, il s'embarqua pour Panama à la tête d'une « Commission technique internationale » chargée de revoir et de préciser complètement ce projet. Grâce à ses efforts, la « Compagnie Universelle du Canal interocéanique » put être fondée, le 31 janvier 1881, au capital de 300 millions de francs, et les travaux furent aussitôt commencés.

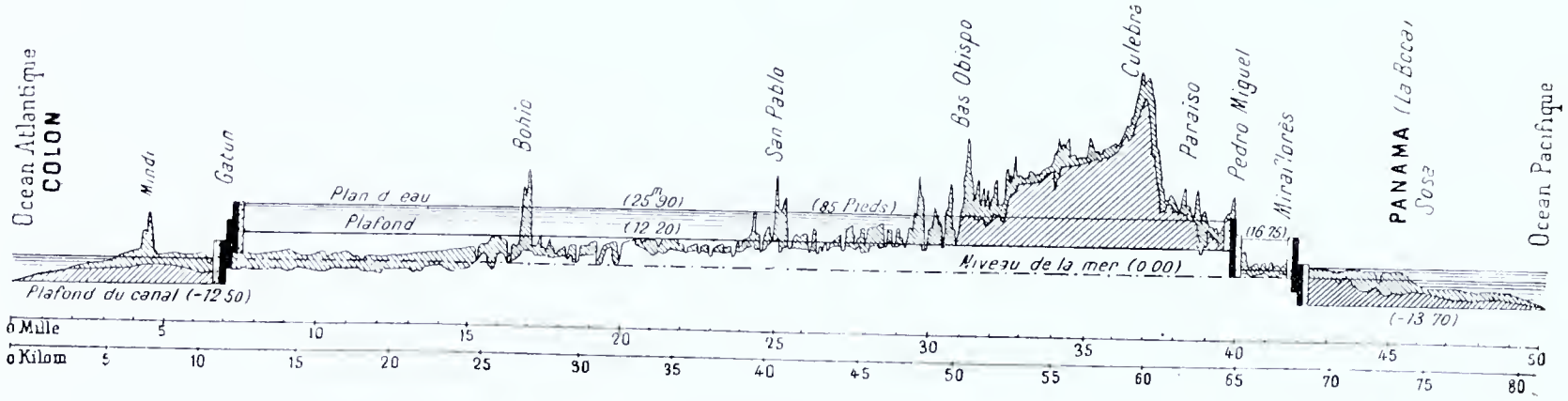
Diverses considérations financières conduisirent malheureusement la Compagnie à pousser ces travaux avec plus d'activité qu'il n'aurait convenu, étant donné qu'on se trouvait dans un pays neuf, dénué de toutes ressources et, par surcroît, extrêmement malsain. C'est là une des premières causes de l'échec de la Compagnie, échec qui était d'ailleurs fatal, car l'entreprise était vraiment au-dessus des forces d'une Société privée, dont le capital était majoré des intérêts intercalaires à servir aux actionnaires pendant toute la durée des travaux.

Après avoir travaillé consciencieusement jusqu'en 1886 à l'exécution du canal à niveau, la Compagnie, en vue de hâter sa mise en exploitation, eut l'idée de faire d'abord, *à titre provisoire*, un canal à écluses destiné à être mis plus tard à niveau par la suppression progressive des écluses. Dans sa hâte d'aboutir, elle adopta un projet assez critiquable de dix écluses indépendantes, cinq sur chaque versant, et dont l'alimentation devait être obtenue soit par des machines à vapeur relevant l'eau de bief en bief, soit par une rigole amenant l'eau du Haut-Chagres dans le bief de partage.

L'exécution de ce projet se poursuivait activement lorsque, à la fin de 1888, la Compagnie se trouvant dans l'impossibilité de continuer à accroître ses ressources par l'émission d'obligations, dut avouer son impuissance et renoncer à la lutte. Elle avait alors dépensé, en outre de son capital actions de 300 millions, environ 1 milliard de francs d'obligations ; aussi sa déconfiture provoqua-t-elle en France un vif mécontentement. Des reproches violents, dont beaucoup immérités, furent adressés aux administrateurs et, la politique s'en mêlant, un procès fut intenté à F. de Lesseps et à certains de ses collaborateurs et le scandale qui en résulta eut même sa répercussion jusque dans le Parlement.

Dans ces conditions, il est évident que toute tentative de relèvement de l'entreprise était impossible, et tout ce que put faire le liquidateur de la Compagnie ce fut de constituer, en 1894, une petite société au capital de 60 millions dite « Compagnie nouvelle du Canal de Panama ». Cette Société avait pour but, d'une part, de reprendre les travaux du canal, de façon à empêcher la concession de devenir caduque, et, d'autre part, de permettre l'étude réfléchie d'un projet d'achèvement tenant compte de l'expérience du passé.

Peu après la cessation des travaux, le liquidateur avait, en effet, chargé une Commission, présidée par l'Inspecteur général des Ponts et Chaussées Guillemain, de faire un rapport complet sur la situation de l'entreprise et d'élaborer un projet d'achèvement. Ce projet, publié en 1890, avait soulevé certaines critiques et la Compagnie nouvelle se trouvait dans



Profil en long du canal de Panama, tel qu'il a été exécuté par les Américains.

Les hachures supérieures indiquent les excavations faites par les Français, les autres celles faites par les Américains.

Elevation of Panama Canal as it was built by Americans.

The hatching of the upper part show excavations made by French, and the other, those made by Americans.

l'obligation d'en faire l'étude concurremment avec d'autres projets préconisés postérieurement par des ingénieurs ayant participé aux travaux de l'ancienne Compagnie et qui, par un long séjour dans l'isthme, avaient acquis une connaissance particulière du problème à résoudre. Trois de ces projets furent ainsi examinés par la Compagnie nouvelle, ceux présentés par MM. Wyse, Jacquemin et Sosa; A. Dumas; Bunau-Varilla.

On ne peut indiquer ici en quoi consistaient les solutions envisagées par ces ingénieurs, et il faut se borner à dire que, de même que le projet de la commission Guillemain, elles avaient toutes pour point de départ l'idée émise par un ingénieur français, Godin de Lépinay, au Congrès de 1879, idée qui est, en définitive, celle qui a été réalisée par les Américains et à laquelle on doit l'achèvement du canal. Il est regrettable que la première Compagnie française, hypnotisée par le désir de faire un canal à niveau, ne l'ait pas adoptée, car peut-être aurait-elle pu, dans ces conditions, mener sa tâche à bonne fin.

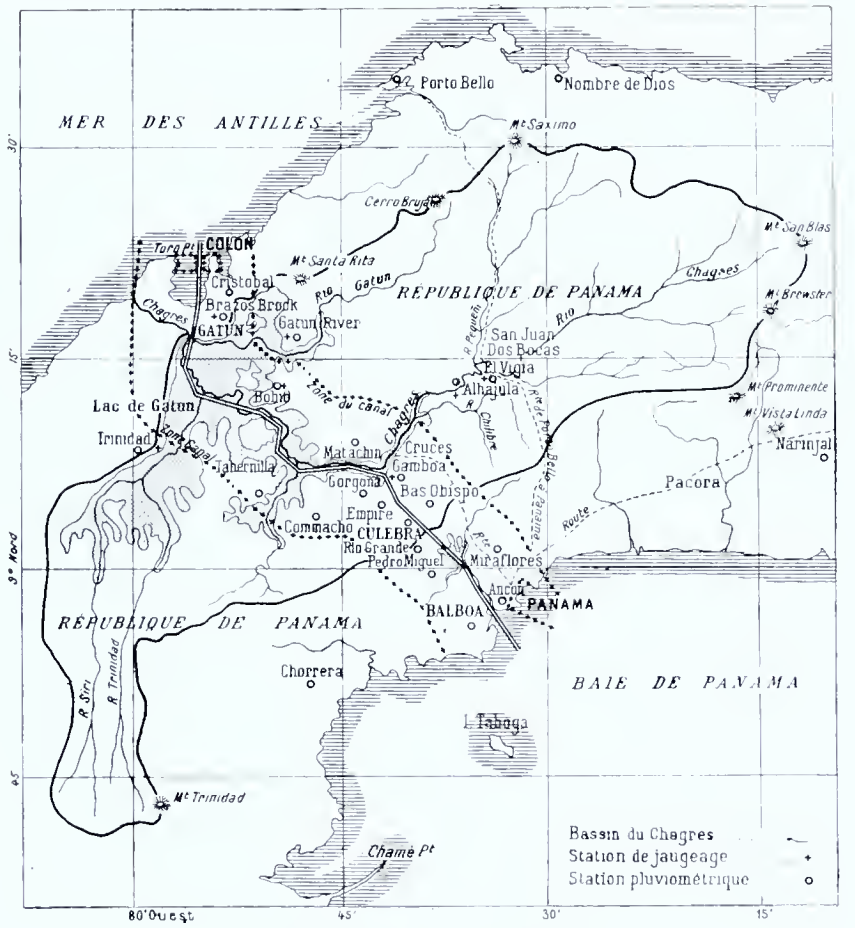
La solution imaginée par Godin de Lépinay a l'avantage de résoudre la question de l'aménagement du Chagres en même temps que de réduire la hauteur de la tranchée centrale. Elle consiste à établir un grand barrage dans la partie inférieure de la vallée de ce fleuve, de façon à transformer cette vallée en un immense lac destiné à fournir une grande partie de la voie navigable. Non seulement la hauteur du plan d'eau ainsi obtenue permet de diminuer d'autant la profondeur de la tranchée à percer à travers la Cordillère, mais cette immense nappe d'eau peut recevoir sans inconvénient les eaux fluviales, qu'il serait très dangereux de laisser pénétrer dans la cuvette d'un canal ordinaire.

Cette solution comportait, en principe, un grand lac formant bief de partage des eaux et obtenu en barrant les vallées du Chagres et du Rio Grande. La différence de niveau entre ce lac, situé à la cote 24, et la mer, était obtenue par une échelle de cinq écluses de $4^m 80$ de chute du côté de l'Atlantique, et par une échelle de six écluses de $4^m 50$ de chute du côté du Pacifique.

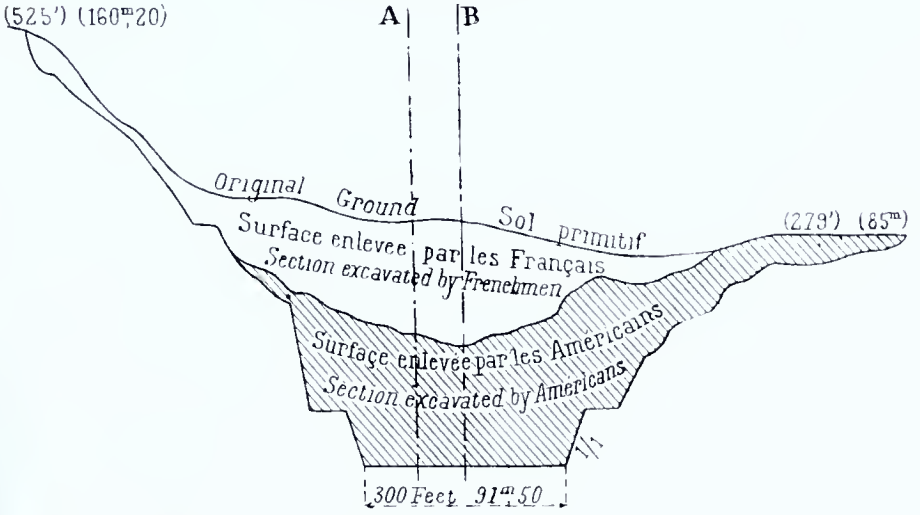
On voit que cette conception est exactement celle qui sert de base au projet exécuté par le Gouvernement américain : le plan d'eau du lac créé dans la vallée du Chagres y est prévu à 24 mètres au-dessus du niveau de la mer, tandis que dans le projet réalisé ce plan d'eau est à la cote 25,90. Si les écluses sont un peu plus nombreuses, c'est qu'en 1879 on n'avait pas encore abordé pour ces ouvrages des hauteurs de chute supérieures à 5 mètres.

Dans le premier projet américain, celui élaboré en 1901 par l'Isthmian Canal Commission nommée, en 1899, par le President Mac Kinley et présidée par l'amiral Walker, le barrage du Chagres et le groupe d'écluses correspondant était prévu à Bohio-Soldado, comme dans la plupart des projets des ingénieurs français de 1889 à 1898. Cette Commission a, du reste, loyalement, reconnu que le projet adopté par elle n'était qu'une très légère modification de celui conçu par ces derniers.

De vives critiques ayant été adressées au projet de la Commission Walker, le Président Roosevelt décida, le 24 juin 1905, la réunion d'une commission internationale pour l'apprécier et le comparer au projet de canal à niveau qui conservait des partisans. Le résultat de cette consultation fut l'adoption définitive du canal à écluses à peu près tel qu'il



Plan d'ensemble du canal de Panama.
Map of the Panama Canal.



Coupe transversale du canal de Panama, dans la tranchée de la Culebra, montrant les excavations faites par les Français et par les Américains.
A, axe du canal français ; B, axe du canal américain.

Cross section of te Panama hCanal in the Culebra trench, showing excavations made by French and by Americans.
A, center line of the french canal ; B, center line of the american canal.

avait été élaboré par ladite Commission. C'est ce projet qui a été mis d'abord à exécution et ce n'est qu'en décembre 1907 que le barrage du Chagres a été reporté de Bohio-Soldado à Gatun.

Il n'y a pas lieu de parler ici de la façon très remarquable et digne de tous éloges dont les ingénieurs du Gouvernement des États-Unis, sous l'habile direction du colonel Goethals, ont exécuté l'achèvement du canal d'après un programme considérablement élargi, mais il est juste de faire remarquer combien cette exécution a été facilitée par l'état d'avancement dans lequel se trouvait l'entreprise au moment où ils en ont pris possession.

Ainsi que cela a été reconnu par l'Isthmian Canal Commission dans l'enquête à laquelle elle a procédé, de 1899 à 1901, à ce moment, non seulement les Français avaient fait toutes les études et installations nécessaires à la construction du canal, mais ils avaient enlevé un déblai de 55 millions de mètres cubes. La grande tranchée de la Culebra était creusée sur une profondeur d'une vingtaine de mètres et les biefs maritimes du canal étaient presque entièrement creusés sur 8 kilom. du côté de Panama, et sur 18 kilom. du côté de Colon.

Par suite des modifications apportées aux projets primitifs, une partie du cube excavé n'a pas été utilisée dans le projet de ladite commission et, d'autre part, la valeur qu'elle a attribuée au restant est celle qui correspond à une exécution normale, dégagée de tout aléa, et non à un travail exécuté pendant les tâtonnements inhérents à une entreprise de cette importance située dans un pays où les difficultés de toutes sortes sont exceptionnelles. C'est pour cela qu'elle a fixé à 40 millions de dollars seulement la somme à payer par le Gouvernement des États-Unis aux Compagnies françaises qui possédaient la concession et qui ont été forcées, par suite de circonstances, de s'en contenter.

Pour montrer à quel point cette somme est inférieure à la valeur des travaux et aménagements livrés en échange, il suffira de faire remarquer que pendant leur période d'installation, du 4 mai 1904 au 31 mars 1907, les États-Unis ont dépensé 235 millions de francs pour enlever 4 400 000 mètres cubes seulement. Il est cependant de toute évidence que cette installation dans des chantiers qui avaient déjà acquis un grand développement ne présentait aucune des difficultés que les Français avaient dû vaincre en arrivant dans un pays dénué de toutes ressources et où le tracé du canal n'était encore que simplement jalonné par des piquets dans la forêt vierge.

La somme versée par les États-Unis à l'ancienne Compagnie créée par Ferdinand de Lesseps a été si faible que non seulement ses actionnaires n'ont rien reçu, mais que ses obligataires n'ont touché qu'environ 12 % de leur créance. Il n'est donc pas étonnant qu'un peu d'amertume soit d'abord restée dans le cœur de ces Français qui, en apportant leur concours à cette entreprise, croyaient non seulement participer à une œuvre glorieuse, mais aussi à une affaire fructueuse comme celle du canal de Suez. Le temps a atténué ces sentiments, d'ailleurs bien légitimes, et il appartient au Gouvernement des États-Unis d'adoucir leurs regrets par l'usage qu'il fera de l'œuvre grandiose qu'il a su acquérir dans des conditions extrêmement avantageuses et sans avoir été dans la nécessité de faire tous les sacrifices que méritait sa possession.

Vue des travaux de la Culebra, en 1888.

View of Culebra works, in 1888.

The Panama Canal.

If the merit of having finished the interoceanic canal and the profits which it will yield belong in the future to the United States of America, it is nevertheless incontestable that the glory of having dared to undertake this great work and to accomplish the most delicate and ungrateful part of its execution is due to French engineers. At the same as recognising the ability of the American engineers, who have accomplished this work successfully, it is only just to recall here the task accomplished by the French, to whose initiative it was due and to show to what advanced stage they had conducted the undertaking when the government of the United States took possession of it.

The idea of cutting through the isthmus of Panama was exposed as soon as it had been ascertained that this junction of the two Americas was not interrupted by any natural channel joining the two oceans. A decree of Charles Quint in 1534 had even set forth that a site favorable to the establishing of an artificial waterway should be sought for, but no further attention was given to this idea no more than to that of the same order emitted in 1600 by the Frenchman, Samuel de Champlain.

It was at the commencement of the nineteenth century only that the idea of building an interoceanic canal was entertained in any precise fashion, and whilst the United States were concentrating their attention on the creation of a waterway passing through Nicaragua, a French Company obtained a concession in 1838 from the Republic of New Granada for the construction of a canal across the isthmus of Panama. This Company, called "franco-grenadine", succeeded in obtaining the support of the Prime Minister Guizot in this undertaking and who sent a chief engineer of mines, Napoléon Garella, to study the question. After a careful exploration of the isthmus, this engineer prepared a project of a lock canal, most remarkable for that time, which was submitted to the examination of a commission of Head Inspectors Ponts et Chaussées. This commission being of opinion that the work was too important for a private company to carry out and that it could only be undertaken with the aid of other maritime powers, the project was abandoned.

In 1876, the Commercial Geographical Society of Paris appointed a committee of scientific notabilities, presided over by Ferdinand de Lesseps, and, at the same time, a private Society sent a Commission into the isthmus with instructions to make a thorough exploration. This commission was presided over by two officers of the French Navy, Mr Bonaparte Wyse and Mr Armand Reclus, several possible routes being examined, and after two years study, Mr Wyse obtained a concession from Columbia, in May, 1878, to open up a canal in that country.

Ferdinand de Lesseps having called for an international congress on the 15th of May 1879, "Congrès international d'Études du Canal interocéanique", this congress examined about ten projects, but two only appealed to the members, that of Colon and Panama, called the Wyse and Reclus project and the other through Nicaragua, supported by the Americans Lull and Menocal. The congress adopted the first by a large

majority. The advantages of this project over the others were those of the lockless scheme, whilst the second comprised many locks.

Immediately after the congress Ferdinand de Lesseps undertook the formation of a Company for the execution of the Wyse and Reclus project and on the 8th December 1879, when more than 74 years of age, he set out for Panama at the head of an International Technical Commission entrusted with the complete re-examination of the project and the obtaining of precise information in its connection. It was through his efforts that the "Compagnie universelle du Canal interocéanique" was formed on the 31st January 1881 with a capital of 300 million francs, and the work was commenced at once.

Divers financial considerations unfortunately led the Company to push forward the work with more activity than was advisable, the undertaking being carried out in a new country entirely devoid of all resources and, what is more, extremely unhealthy. It is the last mentioned drawback which was the cause of the Company's misfortune and which was moreover inevitable, for the enterprise was beyond the capacity of a private Company, the capital of which was increased by intercalary interest due to the shareholders for the whole duration of the work undertaken.

After having conscientiously continued working up to 1886 to complete the lockless canal, the company, having in view the opening of the canal as soon as possible, conceived the idea of making, first of all, a lock canal, to be reduced to a lockless one later by the progressive suppression of the locks. In its haste to carry out this scheme, the company adopted a rather criticisable project of ten independent locks, five on each fall, and supplied with water by pumps lifting the water from one reach to the other or by a watercourse bringing the water from the Haut-Chagres into the summit level or dividing reach.

The execution of this project was actively continued, when, at the end of 1888, the Company finding that it was absolutely impossible to continue increasing its resources by the issuing of further bonds, had to admit that it was powerless and to relinquish the struggle. The Company had then spent, outside its shares capital of 300 million francs, about 1 thousand million francs of bonds, its insolvency therefore provoked a very strong current of ill feeling in France. Violent reproaches, many of which were not merited, were addressed to the administrators, and the mixing up of politics with the matter caused an action to be brought against Mr F. de Lesseps and certain men amongst his collaborators, and the resulting scandal had even its repercussion in Parliament.

Under these conditions, it is evident that all attempts to refloat the Company were impossible and all that the liquidator of the Company could do was to form, in 1894, a small Company with a capital of 60 millions called the "Compagnie Nouvelle du Panama". One of the objects of this Company was to recommence the work of the canal, so as to prevent the lapsing of rights, and, on the other hand, to allow of the careful consideration of a further scheme for the finishing of the work in profiting by past experience.

Soon after the work of the canal being stopped, a commission, presided over by the Chief Inspector Guillemain of Ponts et Chaussées was appointed by the liquidator to make a complete report of the situation and to

prepare a new project for finishing the canal. This project, published in 1890, was subjected to a certain amount of criticism and the new Company was obliged to study the matter in connection with other schemes put forward after by engineers who had participated in the work done by the old Company and who, through long residence in the isthmus, had acquired a particular knowledge of the problem to be resolved. Three of these projects were thus examined by the new Company, those presented by Messrs Wyse, Jacquemin and Sosa; A. Dumas; and Bunau-Varilla.

Space will not allow of our giving detailed information concerning the particular schemes in question presented by these engineers, and we must limit our explanations to saying that, as with the project of the Guillemain commission, they all had, as a starting point, the same idea as that of a French engineer, Godin de Lépinay, at the 1879 congress, idea which has been definitely adopted by the Americans and to which the completing of the canal is due. It is to be regretted that the first French Company, hypnotised by the desire to construct a lockless canal, did not adopt it, for it would perhaps have been possible in this case to have completed the work in a satisfactory manner.

The Godin de Lepinay project had the advantage of solving the question in connection with the Chagres, at the same time as reducing the height of the central cutting. It consists in establishing a large barrage in the lower part of the valley of this river so as to turn the valley into an immense lake destined to provide a large portion of the navigable channel. Not only the height of the water level thus obtained allows of diminishing by the same height the depth of the cutting through the Cordillera, but this immense sheet of water can further hold, without inconvenience, the water of rivers which it would be dangerous to let flow into the basin of the ordinary canal.

This solution of the problem comprised, in principle, a large lake forming a summit level or dividing reach formed by dams across the valleys of the Chagres and of the Rio Grande. The difference between the level of this lake, at 24 meters, and the sea, was obtained through a flight of locks of $4^{m}80$ fall on the Atlantic side and by a flight of six locks of $4^{m}50$ fall on the Pacific side.

It will be perceived that this scheme is exactly that which serves as a base for the project carried out by the American government, the level of the lake formed in the Valley of the Chagres was to be 24 meters above sea level, whilst, in the project carried out, the level is at $25^{m}90$. If the locks were slightly more numerous, it is because, in 1879, falls of over 5 meters for same had not been provided for.

In the first American project of the Isthmian Canal Commission in 1899, which was appointed by President Mac Kinley and presided over by Admiral Walker, the barrage of the Chagres, and the corresponding group of locks, was fixed at Bohio-Soldado, like in most of the French engineers projects of 1889 and 1898. This commission has loyally recognised that the project adopted by it was only a slightly modified form of the last mentioned.

The project of the Walker commission having been the object of strong criticisms, the President Roosevelt decided, on the 24th of June, 1905, to convoke an international commission for its comparison and apprecia-

Wharf de la Boca, construit en 1898 par MM. Daydé et Pillé.

La Boca Wharf, built in 1898 by Messrs Daydé and Pillé.

tion in opposition to the lockless canal project, which still had its partisans. The result of this consultation was the definitive acceptance of the lock canal scheme nearly such as it had been prepared by the said commission. It is this scheme which was put into operation first of all and it was only in December 1907 that the Chagres dam was removed from Bohio-Soldado to Gatun.

There is no need to speak here of the very remarkable fashion, worthy of all praise, in which the United States Government engineers, under the able direction of Colonel Goethals, have dealt with the final work of the canal under the conditions of a considerably enlarged scheme, but it is right to point out how much this work has been facilitated by the advanced state in which they found the undertaking.

As recognised by the Isthmian canal commission, in the investigations made from 1899 to 1901, not only had the French, at that moment, studied and made all the installations necessary to the construction of the canal, but they had further made some 55 million cubic meters of excavations. The large Culebra cutting was excavated to a depth of about 20 meters and the maritime ends of the canal were nearly all excavated along a length of 8 kilometers on the Panama side and for 18 kilometers on the Colon side.

A part of the excavations have not been utilised in the scheme of the above commission, on account of the modifications made in the first projects. On the other hand, the value which it attributed to the rest is that which corresponds to normal works free from all chance loss, and not work carried out by experiment, inherent to an undertaking of this importance in a country where difficulties of all sorts are exceptional. It is for this reason that the commission fixed the sum of 40 million dollars only to be paid by the Government of the United States to the French Companies, holders of the concession, and who have been forced by circumstances to content themselves with it.

In order to show to what extent this sum is inferior to the value of the work, machinery buildings etc.: abandoned in exchange, it will suffice to mention that, from the 4th May 1904 to the 31st March 1907: the United States spent 235 million francs in excavating 4 400 000 cubic meters only. It is, however, very evident that this undertaking in the workings, which were already very extensive, presented none of the difficulties which the French had to overcome in coming into a country which was only staked out by pickets in the virgin forest.

The amount paid by the United States to the old Company formed by Ferdinand de Lesseps, was so small that not only the shareholders received nothing but the bond holders have only received 12 % of their money. It is therefore not astonishing that some bitterness is still felt by those Frenchmen who, in participating actively in this enterprise, belived that they were not only doing so in a glorious undertaking but also in a profitable affair like that of the Suez Canal. Time has attenuated these, it can be said, very legitimate sentiments, and it remains for the United States Government to still further diminish these regrets by the use it will make of this great work, which it acquired under extremely advantageous conditions and without having been called upon to make all the sacrifices its possession merited.

Ports maritimes.

Le développement du commerce maritime et l'accroissement incessant du tonnage des navires qui y sont consacrés a nécessité, dans tous les pays, l'amélioration des anciens ports et quelquefois même la construction de ports entièrement nouveaux. Les ouvrages exécutés dans leur pays par les ingénieurs et les entrepreneurs français ayant attiré sur eux l'attention de gouvernements étrangers qui ont fait appel à leur expérience, l'œuvre accomplie par eux dans divers pays est très considérable. Les principaux ouvrages ainsi exécutés sont :

Le port de Lisbonne, dont la construction a été adjugée à M. H. Hersent, en 1887, pour la somme de 46 millions de francs. Le constructeur y a appliqué, pour la première fois, pour l'exécution des murs de quai, un procédé nouveau, devenu classique, et consistant dans l'emploi de linteaux posés sur des piliers espacés de 8 à 10 mètres.

Le port de Leixoes, à Porto (Portugal), adjugé, en 1884, pour la somme de 25 millions de francs, à M. Bartissol, qui y a employé, pour la construction des jetées, des titans capables de mettre en place des blocs de 50 tonnes. Ces engins, qui constituaient alors une nouveauté, avaient été construits par la Compagnie de Fives-Lille.

Le port de Bilbao, en Espagne, dont la partie extérieure a été construite de 1889 à 1902 par un groupe d'entrepreneurs français, MM. Coiseau, Couvreux et Allard. Ces travaux, dont l'importance s'est élevée à 40 millions, comportaient deux jetées ou brise-lames, dont l'exécution a été particulièrement difficile en raison des tempêtes extrêmement violentes qui sévissent en ce point.

Dans *le port d'Anvers*, des travaux très importants ont été adjugés à MM. H. Hersent et Couvreux, en 1877. Ces travaux, consistant notamment dans la construction de 5 650 mètres de quais le long de l'Escaut, 89 000 mètres carrés de hangars, etc., se sont élevés à 45 millions de francs. Vingt ans plus tard, la construction de nouveaux quais et divers travaux étaient confiés, dans le même port, à MM. J. et G. Hersent, pour une somme de 16 millions de francs.

Parmi les ports qui ont fait appel à la science et aux capitaux français, on se bornera à dire quelques mots des installations de Zeebrugge qui empruntent aux événements actuels un intérêt tout particulier. Une mention spéciale sera faite des ports de l'Amérique du Sud, dans lesquels l'activité des ingénieurs français se manifeste depuis quelques années avec une grande intensité. Les capitaux français engagés dans douze de ces ports atteignent un total de 674 millions de francs.

On n'insistera pas ici sur les travaux de ce genre exécutés dans les pays où s'exerce le protectorat français et on se bornera à signaler ceux qui s'exécutent en ce moment à Casablanca, pour doter le Maroc d'un port bien aménagé. Ces travaux, adjugés à la Compagnie Marocaine, associée à MM. Schneider et Cie et à MM. J. et G. Hersent, occasionneront, pour construction de jetées, bassin à flot, aménagement de quais, etc., une dépense totale de 50 millions de francs.

Sea Ports.

In order to cope with the development of sea-borne trade and the incessant increase in the size of ocean-going ships, all maritime countries have been obliged to improve their old harbors or even to provide entirely new ones. Foreign governments, desirous of profiting by the experience gained by French engineers and contractors engaged on harbor works in France, have entrusted them, to a very considerable extent, with similar work in their respective countries. The principal undertakings are :

Lisbon harbor, which in 1887 was adjuged to Mr H. Hersent for the sum of 46 million francs ($ 9 200 000). Here the contractor employed for the first time the method, since become standard, of building quay-walls on lintels, supported by piers from 26 to 33 ft. a part (8 to 10 meters).

Leixoes harbor at Oporto, Portugal, which was awarded in 1884 for the sum of 25 million francs ($ 5 000 000) to Mr Bartissol, who when constructing the moles made use of Titan cranes capable of handling 55 ton blocks of stone. These machines, then novel, were built by the Fives-Lille C°.

Bilbao harbor in Spain, the outer part of which was constructed between 1889 and 1902 by a group of French contractors, Messrs Coiseau, Couvreux et Allard. This work, costing 40 million francs ($ 8 000 000), included two breakwaters, which, owing to the extremely violent storms which prevail in this part of the world, presented great difficulties in construction.

In *the port of Antwerp* very important works were entrusted to Messrs H. Hersent and Couvreux in 1877. They consisted chiefly of 3 1/2 miles (5 650 meters) of quays along the Scheldt and 22 acres (89 000 square meters) of sheds, etc., and cos 45 million francs ($ 9 000 000). Twenty years later the building of new quays and sundry other works in the same port were entrusted to Messrs J. and G. Hersent for the sum of 16 million francs ($ 3 200 000).

Among the harbors, whose construction is due, either entirely or in part, to French science and French capital, we may mention that of Zeebrugge (see page 189) rendered famous by tragic events now occurring there. The South American ports, where for some years French engineers have manifested great activity, are also described further on. French capital invested in twelve of them amounts to 674 million francs ($ 134 800 000).

While making no mention in general of harbor works in countries under French protection, we may, however, call attention to the works now being carried out at Casablanca, with the view of providing Morocco with an up-to-date port. The Morocco C°, associated with Messrs Schneider and C°, and Messrs J. and G. Hersent, are spending 50 million francs ($ 10 000 000) in constructing moles and a tidal basin, and in fitting up existing quays, etc.

Port d'escale de Zeebrugge (Belgique).

Pendant le moyen âge, la ville de Bruges, dite Venise du Nord, fut l'une des plus grandes et des plus riches cités de l'Europe. Au commencement du XIVe siècle, elle comptait environ 150000 habitants, tandis que Paris n'en avait encore que 120000 et Londres 40000. Cette grande prospérité a disparu complètement à la suite de l'ensablement du chenal donnant accès à son port intérieur.

En 1890, la question de Bruges port de mer fut présentée sous une forme nouvelle par M. de Smet de Nayer, qui préconisa l'établissement à Heyst d'un port d'escale destiné, non seulement à recevoir les grands navires, mais à servir d'avant-port à Bruges, où l'on devait accéder par un canal maritime d'une dizaine de kilomètres de longueur.

Dans cet ordre d'idées, il fut procédé, en 1892, à un concours pour l'établissement d'un port de mer à Bruges, à la suite duquel fut adoptée la proposition présentée par MM. Louis Coiseau, entrepreneur français, depuis président de la Société des Ingénieurs civils de France (1905) et Jean Cousin, ingénieur au Corps des Ponts et Chaussées de Belgique.

Par une convention signée avec le Gouvernement belge et la ville de Bruges, ces ingénieurs s'engageaient à exécuter les travaux à forfait absolu, moyennant la somme de 38969075 francs, dont :

26810629 francs, représentant le coût des travaux du port à construire sur la côte d'Heyst, étaient à fournir par l'État ;

5258466 francs étaient à fournir par la ville de Bruges ;

Enfin, 6900000 francs étaient à fournir par une Société anonyme que les concessionnaires s'engageaient à former, de concert avec la ville, et à laquelle la concession serait transférée pour l'exploitation des ports et du canal pendant soixante-quinze ans.

En cours d'exécution, l'importance des travaux ayant été sensiblement augmentée, le montant total des travaux a été porté à 53300180 francs.

Le projet exécuté comprend : 1° un port à Bruges ; 2° un canal maritime reliant le port de Bruges au port créé sur la côte, en un point appelé Zeebrugge (Bruges-sur-Mer) ; 3° un port à Zeebrugge, comprenant : *a*) un port extérieur, ou port d'escale, constitué par une jetée couvrant l'entrée du canal maritime, et abritant une rade, des quais et installations extérieures ; *b*) une écluse maritime établissant la communication entre le canal et la mer ; *c*) un port intérieur avec appontements.

Le canal maritime reliant le port de Bruges à la côte a environ 11 kilom. Il a 22 mètres de largeur au plafond et 8 mètres de tirant d'eau, son plan d'eau étant à la cote 3m 50.

Le port extérieur de Zeebrugge est caractérisé par une jetée courbe de 2487 mètres de développement, formant avec la côte une rade de 100 hectares de superficie. Cette jetée abrite un mur de quai de 1571 mètres de développement et un terre-plein de 74 mètres de largeur, établi entre ce mur et elle, sur lequel sont construits les hangars et posées les voies ferrées pour l'exploitation du quai.

Vue d'ensemble de la jetée du port de Zeebrugge.

View of the pier of the port of Zeebrugge.

The Port of call of Zeebrugge in Belgium.

The city of Bruges, known as the Venice of the North, was one of the largest and richest cities of Europe in the Middle Ages. At the beginning of the fourteenth century it had about 150 000 inhabitants, as against only 120 000 in Paris and 40 000 in London. The silting up of the channel leading to its inner harbor, however, completely put an end to this great prosperity.

In 1890 Mr de Smet de Nayer proposed to make Bruges once more a seaport and his scheme consisted of forming a deep-water port of call at Heyst and connecting it to Bruges by a ship-canal some six and a half miles (10 kilometers) long.

Based on this scheme tenders were publicly called for in 1892 and the contract was awarded jointly to Mr Louis Coiseau, a French contractor, who subsequently in 1905 was president of the French Institution of Civil Engineers, and to Mr Jean Cousin, engineer of the Belgian Corps des Ponts et Chaussées.

These engineers agreed with the Belgian Government and the city of Bruges to carry out the work for the sum of 38 969 075 francs (£ 7 793 815), of which 26 810 629 francs (the cost of the outer harbor at Heyst) were contributed by the Government, and 5 258 466 francs by the city itself.

The remaining 6 900 000 francs were furnished by a limited-liability company, which the contractors agreed to form in collaboration with the city, and which undertook to operate the port and the canal for a period of seventy five years.

Additional works during construction necessitated the raising of the cost to a total of 53 300 180 francs (£ 10 660 036).

The scheme, as carried out, includes :

1. A harbor at Bruges;

2. A ship-canal connecting this harbor with the sea at a point called Zeebrugge (Bruges-on-sea);

3. A harbor at Zeebrugge consisting of :

   a. An outer harbor or port of call, formed by a mole protecting the entrance of the canal, the outer quays and works and thus forming a safe roadstead;

   b. A sea-lock between the canal and the sea;

   c. An inner harbor with landing stages.

The ship-canal is about 7 miles (11 kilometers) long, is 72 ft. (22 meters) wide at the bottom, can take ships drawing 26 ft. (8 meters), and at the coast its surface lies 11 ft. 6 ins. ($3^m 50$) above sea-level.

The curved mole at Zeebrugge is a mile and a half (8 160 ft. = 2 487 meters) long and forms with the shore a roadstead of 247 acres (100 hectares). Within this mole is a quay-wall nearly a mile (5 154 ft. = 1 571 meters) long and a fill-in 243 ft. (74 meters) wide situated between the quay-wal and the mole, on which the necessary warehouses and railways for the operating of the port are to be found.

Participation française à la construction des Ports récents de l'Amérique du Sud.

Port de Para.

La concession des travaux et de l'exploitation du port de Para fut donnée à la Compagnie « Port of Para », dont le Conseil d'administration est composé en majorité de personnalités américaines, sous la présidence de M. Percival Farquhar, mais il compte parmi ses membres M. l'Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées Quellennec, ingénieur en chef de la Compagnie.

Les travaux d'infrastructure, confiés à la firme anglaise S. Pearson and Son, Limited, de Londres, et dont le montant s'est élevé à 60 millions de francs, ont été terminés le 30 avril 1912.

Les ouvrages de superstructure consistant en la construction et l'aménagement de seize entrepôts, l'installation des appareils de levage sur les quais, etc., ont été confiés à MM. Schneider et Cie, du Creusot. Leur montant s'élève à 12 millions de francs.

Port de Pernambuco.

Le Gouvernement brésilien ayant ouvert, en 1908, un concours pour l'établissement d'un projet d'aménagement du port de Recife, capitale de l'État de Pernambuco, adopta d'abord celui présenté par un français, M. Bartissol, mais au bout de peu de temps cet ingénieur céda sa place à la Société de Construction du port de Pernambuco, qui chargea la Société de Construction des Batignolles de l'exécution des travaux.

Après diverses modifications, le projet en cours d'exécution comprend :

Une muraille de 3 000 mètres environ, s'étendant sur la ligne des récifs naturels et prolongée au sud par une digue en enrochements de 1 200 mètres de longueur, qui la relie au rivage. Au nord, un brise-lames de 1 147 mètres de longueur continue cette digue, qui forme ainsi un ensemble de plus de 5 000 mètres de longueur. Au nord-est, un môle de 800 mètres de longueur complète la protection du port et les 3 818 mètres de quais parallèles à la muraille sur les récifs ;

Un pont de 200 mètres sur la rivière Capibaribe, un quai de 2 500 mètres le long de la rivière Beberibe, un bassin d'échouage, des aménagements de quais, comprenant 30 000 mètres carrés de magasins, avec grues électriques de chargement, gare maritime, etc.

Les dépenses de toute nature, prévues pour l'ensemble des travaux de Recife, sont de 86 000 contos papier, soit 143 millions de francs, dont 100 millions environ affectés aux travaux de port proprement dit.

Port de Bahia.

Afin de mettre ce port en état de recevoir les plus grands paquebots, il fut constitué, en 1902, une Société brésilienne, la Compagnie concessionnaire des Docks et Port de Bahia.

Cette Compagnie s'est engagée à construire, puis à exploiter jusqu'en 1995 un immense port de 100 hectares ayant approximativement la forme d'un quadrilatère, dont deux côtés sont constitués par des brise-lames : l'un intérieur, de 1 100 mètres de longueur, parallèle à la côte; l'autre, perpendiculaire à la côte, dit brise-lames extérieur sud, de 920 mètres de longueur. Les travaux d'études préliminaires avaient été faits par des ingénieurs français et la Compagnie concessionnaire a rétrocédé la construction à la Société de Construction du Port de Bahia, composée en presque totalité de financiers, techniciens et entrepreneurs français.

L'ensemble des travaux est à peu près terminé et la dépense totale est estimée à 75 millions de francs.

Arsenal de Rio de Janeiro.

Les travaux du port de Rio de Janeiro, exécutés par une maison anglaise, ont été terminés en juin 1911 et leur montant s'est élevé à 113 millions de francs. Toutefois, l'exploitation de ce port a été confiée à une Compagnie française. Un concours, ouvert le 21 octobre 1909, a fait adjuger les travaux hydrauliques du futur arsenal de la Marine, à Rio de Janeiro, à un groupement français qui a formé, avec la Société des Batignolles, chargée des travaux, la « Société Française d'entreprises au Brésil ». Ces travaux comportent :

1° Un mur de quai de 650 mètres; 2° un bassin de radoub de 230 mètres de longueur utile; 3° une cale de construction; 4° des dragages et dérochements sous-marins pour ménager devant les quais un chenal de 300 mètres de largeur.

Ces travaux doivent être terminés en 1915. Leur montant s'élève à 30 millions environ.

Barre et port de Rio Grande do Sul.

En septembre 1906, l'ingénieur américain Elmer L. Corthell obtint du Gouvernement fédéral la concession de la construction et de l'exploitation d'un grand port à proximité de la ville de Rio Grande do Sul. Il rétrocéda sa concession à une Compagnie américaine « The Port of Rio Grande do Sul C° », qui la repassa en 1908 à la « Compagnie Française du Port de Rio Grande do Sul », Société créée en juillet 1908.

Le capital de premier établissement de la première section du port s'élèvera, d'après le contrat de concession, à environ 100 millions de francs. La Compagnie française, qui a émis pour 85 millions d'obligations 5 %, a confié les travaux à la « Société générale de Construction », Société française créée à la même époque et dont le président du Conseil d'administration est M. Quellennec, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées. Celle-ci s'est assuré le concours, comme entrepreneurs généraux, de la Société en nom collectif « Établissements Daydé, Fougerolle

frères et Groselier » pour l'infrastructure, et des « Établissements Daydé » pour la superstructure.

L'ensemble des travaux est près d'être terminé et le total des dépenses faites doit s'élever à 147 millions de francs.

Port de Montevideo.

Le Gouvernement de l'Uruguay ayant reconnu indispensable la création d'un port en eau profonde approuva, en 1899, un projet dressé par une Commission que présidait un ingénieur français, M. Ad. Guérard, Inspecteur général des Ponts et Chaussées. Ce projet comportait :

1° Le dragage du chenal d'accès, de l'avant-port et du port jusqu'à une profondeur de 7m 50, qui fut plus tard portée à 10 mètres; 2° la construction de trois jetées, ayant ensemble 4 300 mètres de longueur; 3° des quais, d'une longueur de 2 500 mètres, avec leurs terre-pleins; 4° une digue de rive et des remblais d'une superficie de 60 hectares; 5° un avant-port et deux bassins de marée.

Les travaux étaient estimés à 54 millions de francs.

Le 4 janvier 1901, à la suite d'une adjudication publique, les travaux échurent aux entrepreneurs français, MM. F. Allard, L. Coiseau, A. Couvreux, A. Duparchy, J. Dollfus et L. Wiriot, tant à cause des prix moindres demandés par eux que de leur compétence technique et de leurs capacités financières. Ce groupe, qui s'adjoignit plus tard, pour la direction sur place, M. Jean Sillard, constitua une Société sous le nom d' « Entreprise générale des Travaux du Port de Montevideo ».

Le 25 août 1910, le Président de la République, le docteur Don Claudo Williaman, inaugura solennellement le port, qui peut être classé parmi les plus beaux du monde.

La dépense totale, après l'augmentation des travaux imposée en cours d'exécution, s'est élevée à 78 millions de francs.

Port du Rosario.

Le Gouvernement argentin mit au concours, en 1902, l'entreprise des nouvelles installations à exécuter dans le port de Rosario, sur le rio de Parana. La Commission désignée pour examiner les propositions reçut des projets de maisons de nationalités diverses et retint celles des ingénieurs français, MM. H. Hersent et fils, et MM. Schneider et Cie, qui constituèrent la « Société du Port de Rosario », au capital de 10 millions, pour le compte de laquelle ils entreprirent les travaux.

Le Gouvernement concéda à cette Société, pour une durée de quarante années, le monopole absolu de la perception de toutes taxes dans une zone déterminée, moyennant une part dans les bénéfices.

Les nouvelles installations du port du Rosario sont situées en aval des quais existant antérieurement. Elles comportent les travaux suivants :

1° La régulation et les dragages du chenal d'accès au port, de façon à obtenir des fonds de 7 mètres au-dessous du zéro; 2° la construction de quais, d'une longueur de 3 500 mètres, ayant un tirant d'eau de 7 à 8 mètres; 3° la construction d'un bassin de cabotage de 370 mètres de

Vue du port du Rosario, sur le Parana.

View of the port of Rosario, on the Parana.

périmètre : 4° la création de terre-pleins, en arrière des quais, sur lesquels se trouvent 10 hectares de chaussées, 37 kilomètres de voies ferrées et 6 kilomètres de grilles de clôtures ; 5° la construction de 25 entrepôts et hangars couvrant 51 500 mètres carrés ; 6° la construction d'un élévateur à grains avec silos de 30 000 mètres cubes de capacité permettant de recevoir par voies ferrées 500 tonnes et charger sur bateaux 750 tonnes de céréales par heure ; 7° la fourniture de tout l'outillage du port.

Ces travaux ont été terminés en 1910 et leur coût s'est élevé à 70 millions de francs.

Avant même qu'ils fussent achevés, le Gouvernement argentin décida de procéder à des travaux d'agrandissement du port du Rosario et les confia aux mêmes entrepreneurs MM. Hersent, Schneider et Cie.

Les nouveaux quais amont ont 730 mètres de longueur et, avec leur outillage, ils ont coûté 17 millions de francs.

Port de Mar del Plata.

Mar del Plata est un grand port argentin, créé en eau profonde, à mi-chemin entre le Rio de la Plata et la baie de Bahia Blanca : il dessert la province de Buenos-Aires et semble appelé à un grand avenir.

Le projet et l'exécution de ce port furent soumis à un concours international par le Gouvernement qui, le 28 octobre 1910, fixa son choix sur les propositions faites par MM. Allard, Dollfus, Sillard et Wiriot, anciens entrepreneurs du port de Montevideo.

Les ouvrages à exécuter comportent : la construction de deux jetées, ayant respectivement 1 100 mètres et 2 400 mètres de longueur, et atteignant les profondeurs de 11 mètres sous zéro ; la construction de 3 000 mètres de quais, les dragages de l'avant-port et des darses, à la cote (— 10m 00) ; l'installation de hangars, dépôts, grues électriques, voies ferrées, etc. Activement entrepris dès la fin de 1911, ils sont en pleine exécution et doivent durer six ans.

La dépense prévue, au concours, était de 60 millions de francs.

Port de Quequen.

Le port de Quequen est situé sur la côte de l'océan Atlantique, en République Argentine, à 400 kilomètres au sud de Buenos-Aires, et à 300 kilomètres au nord-est de Bahia Blanca, à l'embouchure du Rio Quequen.

Sa construction fit l'objet d'un marché passé par le Gouvernement avec la Société des Grands Travaux de Marseille en juillet 1910 et comportant :

La construction d'un avant-port abrité par deux jetées convergentes allant jusqu'aux fonds naturels de 7 mètres ; la création dans cet avant-port d'un bassin d'outre-mer et d'un chenal d'accès à ce bassin, dragués jusqu'à la cote (— 6m 50) ; la construction des quais, môles et plates-formes nécessaires au commencement d'organisation du port ; les aménagements et installations indispensables à l'exploitation (hangars, voies ferrées, installations mécaniques, etc.) ; le dragage à (— 3 mètres) du chenal d'accès au port intérieur de Nécochéa et l'aménagement de ce port pour les besoins du cabotage.

Le montant du devis s'élevait à 15 millions de francs.

Wharf du port militaire de Puerto Belgrano.

La Compagnie française du Chemin de fer de Rosario à Puerto Belgrano, dont la ligne principale aboutit à Bahia Blanca, a obtenu la concession d'un wharf commercial dans le port militaire que le Gouvernement argentin a construit au lieu dit « Puerto Belgrano », à 20 kilomètres de Bahia Blanca. Ce wharf forme donc tête de ligne à l'extrémité sud de la province de Buenos-Aires de ladite voie ferrée.

Les travaux ont été confiés à MM. J. et G. Hersent; commencés le 20 mars 1908, ils ont été terminés en 1912 et ont coûté 18 millions de francs.

Port commercial de Bahia Blanca, à Puerto Belgrano.

Le Gouvernement argentin s'était préoccupé, dès 1908, de parer à l'insuffisance des ouvrages existant dans la baie de Bahia Blanca et d'assurer à ce débouché commercial si important la facilité de la navigation à toute heure de marée, ainsi qu'un outillage perfectionné pour les opérations d'embarquement et de débarquement. C'est dans cet ordre d'idées que M. Pagnard, Ingénieur français, dressa le projet d'un nouveau port à Puerto Belgrano, dont il obtint la concession par une loi du 19 octobre 1908. Cette concession fut rétrocédée à la Compagnie commerciale du Port de Bahia Blanca, constituée en janvier 1912, au capital de 10 millions de francs, présidée par M. Guérard, Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

Les travaux concédés consistent en bassins, quais suivant un périmètre de 5 000 mètres, dépôts munis de grues, courroies de transport et élévateurs à grains, voies ferrées et autres ouvrages nécessaires au service du port. La construction en est divisée en cinq sections, comprenant chacune un développement de 1 000 mètres de quais, et devant être exécutés successivement.

La Compagnie concessionnaire a confié l'exécution des travaux, dont le montant s'élève à 28 millions de francs, à la Régie Générale de Chemins de fer et Travaux publics, de Paris.

Nouvelle forme de radoub du port de Talcahuano.

Il existe à Talcahuano une première cale sèche qui fut exécutée par un entrepreneur français, M. Dussaud. En raison du développement du port et de l'accroissement des dimensions des navires, le Gouvernement chilien dressa l'avant-projet d'une seconde forme de radoub, destinée surtout à recevoir les dreadnoughts de la marine chilienne. Sa longueur utile sera de 251 mètres, sa largeur libre au couronnement de 43m 80, et son tirant d'eau sur le radier, à l'entrée, de 12m 20.

La mise au concours de cet ouvrage eut lieu en 1910, et c'est le groupe des entrepreneurs français, MM. Allard, Couvreux, Dollfus, Sillard et Wiriot qui fut choisi, principalement en raison du délai d'exécution exceptionnellement court qu'il accepta.

Les travaux doivent être terminés en 1915. Leur montant est évalué à 24 millions de francs.

French participation in the building of the Ports of South America.

The Port of Para.

The concession for the building and working of the port of Para was confided to the Port of Para C°, whose board of directors was chiefly American under the presidentship of Mr Percival Farquhar, but on which Mr Quellenec, the Chief engineer of the Company and also Chief Engineer of the Ponts et Chaussées had also a seat.

All work below water was carried out by Messrs S. Pearson and Son, Limited, of London, for the sum of 60 million francs ($ 12 000 000) and was completed on April 30th 1912.

All superstructures consisting of the building and fitting up of sixteen warehouses, the erection of cranes on the quays, etc., were furnished by Messrs Schneider and C°, of le Creusot, and cost 12 million francs ($ 2 400 000).

The Port of Pernambuco.

In 1908, the Brazilian Government called for competitive schemes for improving the harbor of Recife, the capital of the State of Pernambuco, and selected that proposed by Mr Bartissol, a Frenchman. Shortly afterwards this engineer retired in favor of the Construction of the port of Pernambuco C° who entrusted the Société de Construction des Batignolles with the carrying out of the work.

After various modifications the work now being carried out includes :

A sea-wall nearly 2 miles (3 000 meters) long extending along the line of natural reefs, prolonged towards the south by a rubble break-water, 4 000 ft. (1 200 meters) long connecting it with the shore. Towards the north a break-water, 3 442 ft. (1 147 meters) in length, forms a continuation of the wall, which thus becomes over 3 miles (5 000 meters) in total length. To the north-east a mole 2 600 ft. (800 meters) long completes the protection of the harbor and of the 2 1/3 miles (3 818 meters) of quays lying parallel to the sea-wall on the reef.

A 656 ft. (200 meters) bridge over the river Capibaribe, a quay-wall, 1 1/2 mile (2 500 meters) long, along the river Beberibe, a dock, and the fitting up of the quays, including 7 1/2 acres (30 000 square meters) of warehouses with electric cranes, maritime station, etc.

The total estimated expense for the whole of the work at Recife amounts to 86 000 paper contos, say 143 million francs ($ 28 600 000), of which the harbor works account for about 100 million francs ($ 20 000 000).

The Port of Bahia.

In order that the largest liners might utilise this port, a Brazilian Company was formed in 1902 under the title " Docks and port of Bahia concessionary C° ".

This Company undertook to construct and then operate until 1995 an immense harbor of 250 acres (100 hectares) of roughly quadrilateral form, two sides of which are protected by break-waters, one inner one running for 3 600 ft. (1 100 meters) parallel to the shore, and the other 3 000 ft. (920 meters) long, at right angles to the same, known as the outer southern break-water. The preliminary designs having been made by French engineers, the concessionary Company handed the actual construction over to the " Port of Bahia Construction C° ", composed almost entirely of French financiers, engineers and contractors.

Most of the work is already completed and the total value is estimated at 75 million francs ($ 15 000 000).

Rio de Janeiro Arsenal.

The harbor works of Rio de Janeiro, costing 113 million francs ($ 22 600 000), were carried out by an English Company and were completed in June 1911. The actual operating of the harbor was, however, confided to a French C°. Consequent on an open competition, under the date of October 21 1909, the hydraulic work for the future naval arsenal at Rio de Janeiro was awarded to a French group, which with the Société des Batignolles, who undertook the actual work, formed the " French C° for Brazilian contracts ". The works comprise :

1. a quay-wall about 3/8 mile (650 meters) long; 2. a dry dock capable of docking ships, 755 ft. (230 meters) long; 3. a graving dock; 4. the dredging and removal of submarine rocks so as to allow of a berthing channel 984 ft. (300 meters) wide, in front of the quays.

These works costing about 30 million francs ($ 6 000 000), should be completed in 1915.

Bar and harbor of Rio Grande do Sul.

In September 1906 an American Engineer, Mr Elmer L. Corthell, obtained from the Federal Government the concession for the construction and operation of a large harbor close to the city of Rio Grande do Sul. He ceded his concession to an American Company " The port of Rio Grande do Sul C° ", who in 1908 passed it on to the " Compagnie Française du Port de Rio Grande do Sul " which was formed in July 1908.

According to the terms of the concession the capital required for the carrying out of the first section of the port amounts to about 100 million francs ($ 20 000 000). The French C°, who issued 85 million francs' worth ($ 17 000 000) of 5 % bonds, handed over the actual construction to a French Company formed at the same time, — the Société Générale de Construction, — whose president is Mr Quellenec, Chief Engineer of the Ponts et Chaussées. This Company entrusted the below water and foundation work to the " Établissements Daydé, Fongerolle frères et Groselier " and the superstructure to the " Établissements Daydé ", working together as a collective Company.

The whole of the work will be shortly completed and will have cost 147 million francs ($ 29 400 000).

The Port of Montevideo.

The creation of a deep-water harbor at Montevideo having become a crying necessity the Government of Uruguay approved in 1899 a scheme got out by a Commission, over which Mr Ad. Guérard, inspector general of the Ponts et Chaussées, presided. This scheme included :

1. The dredging of a channel from the outer to the inner harbor to a depth of 24 ft. 6 ins. (7^{m} 50), increased later in 32 ft. 10 ins (10 meters) : 2. the construction of three moles, having a total length of 2 1/2 miles (4 300 meters) : 3. 1 1/2 miles (2 500 meters) of quays together with all necessary filling-in : 4. a shore protecting embankment together with others covering in all 148 acres (60 hectares) : 5. an outer harbor and two tidal basins, all at the estimated cost of 54 million francs ($ 10 800 000).

Following upon an open competition these works were adjudged on January 4 1901 to the French contractors, Messrs F. Allard, L. Coiscau, A. Convreux, A. Duparchy, J. Dollfus and L. Wiriot, on account of not only their low price, but also of their technical competence and financial capacity. This group, which was joined later on by Mr Jean Sillard as local manager, formed a Company under the title of " Entreprise générale des Travaux du Port de Montevideo ".

This harbor, which ranks among the best in the world, was officially opened on August 25 1910 by Dr Claudo Williaman, the President of the Republic of Uruguay.

Including additional works it cost in all 78 million francs ($ 15 600 000).

The Port of Rosario.

In 1902 the Argentine Government called for tenders for new works in connection whith the port of Rosario on the Rio Parana. The Examining Commission received offers from various nationalities but only accepted the schemes of the French engineers, Messrs H. Hersent et fils and Messrs Schneider et Cie, who formed a Company, — la Société du Port de Rosario, — with a capital of 10 million francs ($ 2 000 000) and undertook the work.

The Government in return for a participation in the profits farmed out the whole of the taxes of a certain area to the Company for a period of forty years.

The extensions of the port of Rosario were all situated down-stream of the existing works : they comprise the following items :

1. The regulation and dredging of the entrance channel so as to obtain a depth of 23 ft. (7 meters) below datum : 2. the construction of over 2 miles (3 500 meters) of quays with a waterway from 23 to 26 ft. (7 to 8 meters) deep : 3. the construction of a dock for coasting trade, having a perimeter of 1 223 ft. (370 meters) : 4. filling in land behind the quays and establishing thereon 25 acres (10 hectares) of roads, 23 miles (37 kilometers) of railway, and 3 3/4 miles (6 kilometers) of iron railings : 5. the construction of 25 warehouses and sheds covering 12 1/2 acres (51 500 square meters) : 6. the construction of a grain elevator, with silos

having a capacity of 851 250 U. S. bushels (30 000 cubic meters), and capable of handling 551 U. S. tons (500 metric tons) of grain received by railway, and discharging 826 U. S. tons (750 metric tons) of the same into boats per hour; 7. the entire fitting up of the port with appliances.

The works, costing 70 million francs ($ 14 000 000) were completed in 1910.

Even before these were finished the Argentine Government decided on still further extensions, which were confided to the same contractors, Messrs Hersent, Schneider and Cº.

The new quays up-stream are nearly half a mile (730 meters) long, and have cost 17 million francs ($ 3 400 000).

The Port of Mar del Plata.

Mar del Plata is a large deep-water port, situated half-way between the Rio de la Plata and the bay of Bahia Blanca, in the Argentine Republic; it forms an ocean-gate to the province of Buenos Ayres, and is likely to become of great importance in the future. Designs and tenders were publicly called for and on October 28 1910 the Government accepted the plans of Messrs Allard, Dollfus, Sillard and Wiriot, the contractors who had carried out Montevideo harbor (see above).

The works include: the construction of two moles, respectively 3 600 ft. (1 100 meters) and 8 000 ft. (2 400 meters) long, in water up to a depth of 36 ft. (11 meters) below datum; the construction of nearly 2 miles (3 000 meters) of quays, the dredging of the outer-harbor and of the docks to 33 ft. (10 meters) below datum; the building of sheds, warehouses, electric cranes, railways, etc. The work was started towards the end of 1911 and is now in full swing; it should be completed in six years.

The estimated cost is 60 million francs ($ 12 000 000).

The Port of Quequen.

This port is on the coast of the Argentine Republic about 250 miles (400 kilometers) south of Buenos Ayres, and 190 miles (300 kilometers) north-east of Bahia Blanca, and lies at the mouth of the river Quequen.

In July 1910 the Government entered into an agreement with the Société des Grands Travaux of Marseilles for the carrying out of the works, which comprise: the construction of an outer harbor by means of two converging moles running out into water having a natural depth of 23 ft. (7 meters); the creation in this outer harbor of a dock for ocean-going ships together with a channel thereto, dredged to a depth of 21 ft. 4 ins. (6m 50); the construction of all quays, moles and yards necessary to start a port; the provision and erection of sheds, railways and mechanical appliances, etc.; the dredging to a depth of 10 ft. (3 meters) of a channel to the inner harbor of Necochea and the fitting up of the latter for coastwise trade.

The estimated cost is 15 million francs ($ 3 000 000).

Wharf at Puerto Belgrano for the military port.

The railway from Rosario to Puerto Belgrano, of which the main line terminates at Bahia Blanca, was built by a French Company, who obtained the concession for a commercial wharf in the military harbor built by the Argentine Government at a place, called Puerto Belgrano, some 12 miles (20 kilometers) from Bahia Blanca itself. This wharf therefore forms the southern extremity of the railway in the province of Buenos Ayres. The contractors, Messrs J. and G. Hersent, started work on March 20 1908 and completed the same in 1912, at a cost of 18 million francs ($ 3 600 000).

Commercial Port of Bahia Blanca at Puerto Belgrano.

So far back as 1908 the Argentine Government recognised the insufficiency of the existing harbor works at Bahia Blanca and the necessity of insuring that this important commercial port should be accessible at all states of the tide. With this in view a French engineer, Mr Pagnard, got out plans for a new port at Puerto Belgrano and on October 19 1908 obtained a concession for the carrying out of the same. This concession was ceded to the Commercial Company of the Port of Bahia Blanca, founded in January 1912 with a capital of 10 million francs ($ 2 000 000) and under the presidentship of Mr Guérard, Inspector General of the Ponts et Chaussées.

The concession covers docks, 3 miles (5 000 meters) of quays, warehouses fitted with cranes, conveying-belts and elevators for grain, railways and other necessary works. The contract provides for five stages, each of which includes 3/5 of a mile (1 000 meters) of quays and must be carried out successively.

This Company entrusted the actual work, at an estimated cost of 28 million francs ($ 5 600 000), to the Régie Générale de Chemins de fer et Travaux publics of Paris.

New dry dock for the port of Talcahuano.

The port of Talcahuano already possesses a dry dock which was built by a French contractor, Mr Dussaud. In consequence however, of the development of the port and the increase in the size of shipping, the Chilian Government prepared a rough scheme for a second dry dock for the use principally of the dreadnoughts of their Navy. It will be able to take a ship 823 ft. (251 meters) long, is 143 ft. 7 ins. (43^{m} 80) wide at its upper edge and has a depth of water of 40 ft. (12^{m} 20) at its entrance sill.

Public tenders were called for in 1910 and the work was awarded to a group of French contractors, Messrs Allard, Couvreux, Dollfus, Sillard and Wiriot, chiefly on account of the short term within which they guaranteed to complete the work.

The works are to be completed in 1915 and their cost is estimated at 24 million francs ($ 4 800 000).

Chemins de fer.

Depuis 1870, le rôle important joué par les ingénieurs français dans la plupart des pays d'Europe, lors de la création des chemins de fer, a continué à se manifester dans certains pays tels que l'Espagne, le Portugal et surtout les pays balkaniques, et il s'est développé en Asie, en Afrique et dans l'Amérique du Sud.

Ce sont des ingénieurs et des financiers français qui ont construit une partie importante des premiers chemins de fer autrichiens avant 1870, et depuis cette époque c'est la Compagnie de Fives-Lille (de Paris) qui a construit la ligne de Budapest à Semlin. Cette ligne, qui fait partie de la grande ligne de Paris à Constantinople et dont la longueur est de 420 kilomètres, présente de nombreux et très importants ouvrages d'art, notamment le pont de Neusatz, sur le Danube, de 432 mètres de longueur en cinq travées, et le pont de Belgrade, sur la Save, de 480 mètres en cinq travées, dont toutes les piles et culées ont été fondées à l'air comprimé.

Au delà de Belgrade, en territoire serbe, le prolongement de cette même ligne par Nisch sur 340 kilomètres, jusqu'à la frontière bulgare, a été également construit par une Société française, la Régie générale des Chemins de fer. Cette dernière, qui avait déjà construit la ligne de Constantinople à Andrinople, d'une longueur de 320 kilomètres avec embranchement sur Dédéagatch de 140 kilomètres, a construit à elle seule, de 1881 à 1912, en Serbie, Turquie d'Europe et Turquie d'Asie, 2 910 kilomètres de chemins de fer, pour une somme de 370 millions de francs.

D'autres Compagnies françaises ont construit des lignes importantes en Turquie d'Asie, notamment la Société de construction des Batignolles, qui a exécuté, de 1892 à 1895, la ligne de Beyrouth-Damas (Syrie), d'une longueur de 144 kilomètres, dont 40 avec crémaillère. Enfin, certaines Sociétés, quoique constituées sous la forme ottomane, telle que celles de Jaffa à Jérusalem, Damas-Hamah, etc., ont été constituées avec des capitaux français et sont dirigées par des ingénieurs français.

Une des lignes les plus importantes de la Grèce, celle du Pirée à Thèbes, Larissa et ancienne frontière ottomane, de 441 kilomètres de longueur, a été construite de 1902 à 1909 par la Société de construction des Batignolles, et cette Société exécute actuellement dans ce pays la ligne Papapouli-Topsin.

Parmi les lignes récemment exécutées par des Français en Espagne, il convient de citer la ligne de Plasencia à Astorga, de 350 kilomètres de longueur, construite par M. Bartissol, et celle de Linarès à Almeria, de 250 kilomètres, construite par la Compagnie de Fives-Lille. Cette dernière a comporté un très grand nombre d'ouvrages métalliques, dont quelques-uns très importants, notamment celui construit sur le rio Salado. Cet ouvrage, de 315 mètres de longueur, a des piles en maçonnerie de 103 mètres de hauteur au-dessous du rail et présente un ensemble analogue au viaduc des Fades, reproduit page 29.

En Suisse, les deux principales entreprises dont les Français ont récemment assumé la charge sont : d'une part, les travaux du Chemin de fer des Alpes bernoises, dont il est parlé page 204, et le Chemin de fer

de la Furka, de Brigue à Dissentis. Cette dernière ligne, dont la longueur est de 100 kilomètres, dont une partie importante en crémaillère, donnera accès au glacier du Rhône et reliera la vallée de ce fleuve à celle du Rhin.

Dans l'Amérique du Sud, des réseaux entiers ont été créés et sont exploités par des Français, notamment au Brésil et en République Argentine. Enfin, au Chili, la Régie générale des Chemins de fer, associée avec un constructeur anglais, a construit, de 1910 à 1913, 586 kilomètres du chemin de fer longitudinal qui traverse ce pays du nord au sud, parallèlement à la côte du Pacifique.

En Chine, la part des Français dans la construction des chemins de fer est très honorable. En outre de leur participation dans certaines lignes actuellement rachetées par le Gouvernement chinois, ou en collaboration avec des ingénieurs belges, on leur doit la ligne du Chansi, de 243 kilomètres, construite dans un pays très difficile, et celle du Yunnan, dont une courte monographie est donnée ci-après.

Une part importante est due aux Français dans la création des chemins de fer de l'Égypte et même depuis l'occupation anglaise, de nombreux et importants ponts métalliques ont été donnés, au concours, par le Gouvernement de ce pays à des constructeurs français, notamment à la Compagnie de Fives-Lille et aux Établissements Daydé.

Il ne sera pas question ici des nombreux chemins de fer construits dans les colonies françaises et les pays de protectorat, mais on dira plus loin quelques mots sur la ligne qui, partant de la possession française de Djibouti, doit aboutir à la capitale de l'Éthiopie.

Railways.

The considerable role played by French engineers in building railways in most European countries before 1870 was continued after that year in certain countries such as Spain, Portugal and especially the Balkan peninsula; further it has developed in Asia, Africa and South America.

An important part of the early Austrian railways was constructed prior to 1870 by French engineers and financiers, and since then the Fives-Lille Company of Paris built the line between Budapest and Semlin. This railway, 261 miles (420 kilometers) long, forms part of the main line between Paris and Constantinople, and presents numerous very important constructive works, notably the bridge over the Danube at Neusatz, with five spans of a total length of 1 417 ft. (432 meters), and that over the Save at Belgrade, 1 575 ft. (480 meters) long, having also five spans, of which the foundations of the piers and abutments were laid by means of compressed air.

The continuation of this line, 211 miles (340 kilometers) long, in Serbia from Belgrade to the Bulgarian frontier via Nisch was also built by a French Company, the Régie générale des Chemins de fer. This company, which had already constructed the railway between Adrianople and Constantinople (199 miles = 320 kilometers), together with a branch of 87 miles (140 kilometers) to Dedeagatch, has between 1881 and 1912 constructed entirely by itself some 1 808 miles (2 910 kilometers) in

Serbia, Turkey in Europe and Asia Minor for the sum of 370 million francs ($ 74 000 000).

Other French companies have constructed important lines in Asia Minor, notably the Société de construction des Batignolles, who carried out between 1892 and 1895 the 90 miles (144 kilometers) connecting Beyrout with Damascus, 25 miles (40 kilometers) of which are on the rack system. Finally certain companies, such as the Jerusalem-Jaffa C°, the Damascus-Hamah C°, etc., though nominally Turkish were financed by French gold and are run by French engineers.

One of the most important railway in Greece, that from the Piraeus to Thebes, Larissa and the old Turkish frontier, 234 miles (441 kilometers) in length, was built between 1902 and 1909 by the Société de construction des Batignolles, which has in hand at the present moment and in the same country the line from Papaponli to Topsin.

Among the railways recently carried out in Spain by Frenchmen we may mention that between Placencia and Astorga, 217 miles (350 kilometers) long, constructed by Mr Bartissol, and that from Linares to Almeria, 155 miles (250 kilometers) in length, built by the Fives-Lille C°. This latter line includes several girder bridges some of which are very important, such as that thrown over the river Salado. This bridge, 1 033 ft. (315 meters) long, is built on masonry piers 338 ft. (103 meters) high on the same lines as the Fades viaducts shown on page 29.

The two principal undertakings which Frenchmen have recently in hand in Switzerland are, first, the construction of the Bernese Alpine Railway, which is described on page 205, and secondly, the Furka railway, from Brigue to Dissentis. This latter undertaking, 62 miles (100 kilometers) long, of which an important section is furnished with a rack, will join up the valleys of the Rhone and the Rhine and give easy access to the Rhone glacier.

In South America a network of railways have been carried out and are run by Frenchmen, particularly in Brazil and in the Argentine Republic. In Chile, the Régie générale des Chemins de fer, in association with an English contractor, built, between 1910 and 1913, 364 miles (586 kilometers) of railway running parallel to the Pacific coast.

In China, French enterprise in the matter of railways has borne a very honorable part. Beside their participation in certain lines eventually bought up by the Chinese Government, or constructed in collaboration with Belgian engineers, they constructed the Chansi railway, 151 miles (243 kilometers) in length through very difficult country, and the Yunnan line, of which a short description will be found further on.

French contractors have played an important part in the creation of the Egyptian railway system, and even since the British occupation the Egyptian Government has awarded, after public competition, numerous girder bridges to French firms, especially to the Fives-Lille C° and the Etablissements Daydé.

There is no question here of the numerous railways constructed in French colonies and protectorates, but further on will be found a short description of the line which will connect Djibouti (French Somali-land) with the capital of Ethiopia.

Le Chemin de fer des Alpes Bernoises

et les tunnels du Loetschberg et de Moutier-Granges.

Si la première initiative du percement du massif des Alpes Bernoises par une ligne d'accès au Simplon, faisant concurrence à celle du Saint-Gothard, appartient aux Bernois, la mise à exécution du projet définitif, celui du Loetschberg, adopté en 1906, a été largement stimulée par l'initiative française. C'est un syndicat d'entrepreneurs français qui s'est offert à exécuter les travaux à des conditions déterminées, avant même que fût constituée la Compagnie du Chemin de fer des Alpes Bernoises, et c'est aussi un syndicat français qui assura la constitution financière de l'affaire.

La ligne a été inaugurée le 28 juin 1913, en présence de M. Muller, président de la Confédération helvétique, et de M. Thierry, ministre des Travaux publics de France. Elle comporte, en partant de Berne (voir la figure de la page 19) un tracé de 115km 500 environ, absorbant les lignes existant déjà entre Berne et Spiez et de ce dernier point à Frutigen, et remontant la vallée de la Kander jusqu'à Kandersteg; elle entre là dans un grand tunnel de 14 605 mètres pour en ressortir à Goppenstein, et redescendre par la vallée de la Lonza, affluent de la rive droite du Rhône, jusqu'à Brigue, à l'entrée du tunnel du Simplon.

Le consortium d'entrepreneurs français qui a exécuté ces travaux, dont l'importance atteint une centaine de millions, était formé de MM. Allard, Chagnaud, Coiseau, Couvreux, Dollfus, Duparchy, Wiriot et Prud'homme, et il avait confié la direction de l'entreprise à M. Zürcher, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

La principale difficulté a été l'exécution du grand tunnel. Ce souterrain, à deux voies, d'abord prévu avec un tracé rectiligne (de 13 735 mètres seulement), a dû être dévié en 1908 à la suite d'un éboulement survenu dans des conditions impossibles à prévoir, à son passage à 180 mètres au-dessous de la vallée de la Kander.

Cet accident ayant montré qu'on se trouvait en présence d'un cône de sable et d'éboulis au-dessus duquel coulait le torrent, on décida de dévier le souterrain, à 1 200 mètres à partir de la tête nord, pour lui donner un tracé en ligne brisée, avec trois raccordements en courbes de 1 100 mètres de rayon. Cette circonstance explique pourquoi la longueur du souterrain a été augmentée de 870 mètres et portée à 14 605 mètres, devenant ainsi voisine de celle du tunnel du Saint-Gothard (14 984 mètres), qui n'est elle-même dépassée que par celle du Simplon (19 732 mètres). Grâce à un outillage perfectionné, la moyenne générale de l'avancement journalier a atteint 9 mètres.

Une amélioration importante à l'itinéraire Paris-Berne sera apportée par la mise en service de la ligne de raccordement Moutier-Granges (voir la carte page 19). Cette ligne, dont la longueur n'est que de 12 kilomètres, comporte un tunnel de 8 560 mètres, dont le percement a eu lieu le 27 octobre 1914 et qui est en voie d'achèvement. Il est exécuté par les mêmes entrepreneurs français que celui du Loetschberg.

The Bernese Alpine Railway

and the Loetschberg and Moutier-Granges tunnels.

Although the initial idea of tunnelling the Bernese Alps, so as to improve the access to the Simplon tunnel and thus form an alternative route to that of the Saint-Gothard, first saw the light in Berne, yet the actual execution of the Loetschberg tunnel, decided upon in 1906, was largely due to French stimulus. A syndicate of French contractors offered to undertake the work on certain conditions even before the Bernese Alpine Railways Co. was formed, and another French syndicate actually found the money.

This railway was opened on June 28th 1913 in the presence of Mr Muller, the President of the Swiss Confederation, and Mr Thierry, minister of Public Works in France. It comprises some 72 miles (115km 500) between Berne and Brigue (see map on page 19) including the already existing section, Berne-Spiez-Frutigen, and runs up the valley of the Kander to Kandersteg, where it enters the great tunnel, 9 1/10 miles (14 605 meters) long, coming out at Goppenstein. From here it runs down the valley of the Lonza, an affluent of the Rhone, to Brigue at the northern portal of the Simplon tunnel.

An association of French contractors, who undertook the work of constructing the line, costing about 100 million francs ($ 20 000 000), was formed by Messrs Allard, Chagnaud, Coiseau, Couvreux, Dollfus, Duparchy, Viriot and Prud'homme, and it confided the management of the undertaking to Mr Zürcher, chief engineer of the Ponts et Chaussées.

The principal difficulty was in the piercing of the great tunnel. It is built for a double line and was originally laid out in a straight length of 8 1/2 miles (13 735 meters), but was deviated in 1908 on account of the falling in of the tunnel when passing 590 ft. (180 meters) below they valley of the upper Kander, in conditions that could not possibly have been foreseen.

This accident, having demonstrated the existence of a cone of sand and detritus over which the torrent flowed, it was decided to get around this by piercing a fresh tunnel in three straight lengths joined by curves of a radius of 3 609 ft. (1 100 meters), and commencing at about 3/4 mile (1 200 meters) from the northern entrance.

Owing to this circumstance the length of the tunnel was increased by over half a mile (870 meters), thus bringing it up to 9 1/10 miles (14 605 meters) or nearly equal to the Saint-Gothard (9 3/10 miles = 14 984 meters) which is itself surpassed only by the Simplon tunnel of 12 1/4 miles (19 732 meters). Thanks to improved tools the daily rate of advance reached 29 ft. 6 ins. (9 meters).

The Moutier-Granges cut-off (see map on page 19) will effect a great improvement in the Paris-Berne route. This line of 7 1/2 miles (12 kilometers) comprises a tunnel of 5 3/10 miles (8 560 meters) the headings of which met on October 27 1914 and which is now being completed. It is being constructed by the French contractors of the Loetschberg tunnel.

Le Chemin de fer du Yunnan (Chine).

Le Chemin de fer du Yunnan, en exploitation normale depuis le 1er avril 1910, a permis d'atteindre le cœur de la province chinoise du Yunnan, en poussant la voie ferrée jusqu'à Yunnan-Fou, à 465 kilomètres de Lao-kay (frontière franco-chinoise) et à 760 kilomètres de Hanoï, capitale du Tonkin, à 853 kilomètres du port de Haïphong, près de l'embouchure du Fleuve Rouge.

L'établissement de cette ligne avait été prévu dès 1885, par le traité franco-chinois, qui termina la guerre du Tonkin, mais ce n'est qu'en 1898 qu'elle fut concédée par la Chine et en 1901 que fut constituée la Compagnie française des Chemins de fer de l'Indo-Chine et du Yunnan.

Les travaux avaient été estimés à 95 millions de francs, mais de nombreux mécomptes rendirent ce chiffre insuffisant : augmentation énorme de la masse des travaux par rapport au devis primitif, rareté et cherté de la main d'œuvre, insalubrité de la vallée du Namti, troubles de 1903, pertes dues aux variations de cours de la piastre chinoise, amplifiées par les vicissitudes de la guerre russo-japonaise, etc. La Compagnie dut solliciter du Gouvernement français la revision complète des contrats et, après arbitrage, l'estimation totale des dépenses fut fixée à 165 millions, et le chiffre des obligations garanties par l'État français et la Colonie porté de 76 à 89 millions.

Cette ligne est cependant à voie unique, de 1 mètre de largeur seulement, mais les complications de toutes sortes et l'importance anormale des ouvrages d'art en ont fait un des chemins de fer les plus difficiles qui aient été exécutés dans le monde. La construction en a été exécutée par deux Sociétés françaises qui en avaient fait les études préliminaires : la Société de construction des Batignolles et la Régie générale de Chemins de fer et Travaux publics.

Voici quelques chiffres qui précisent l'importance des ouvrages d'art de la ligne : les déblais, dont le cube total s'élève à 16 600 000 mètres cubes, se sont élevés en certains points jusqu'à 75 000 mètres cubes par kilomètre de voie ; les 155 tunnels ont une longueur totale de 17 kilomètres, et il a été construit 3 422 ponts de toute grandeur.

D'autre part, non seulement la main-d'œuvre était très difficile à recruter, mais elle était de très mauvaise qualité, et les conditions d'exécution de la ligne ne permettaient qu'un emploi extrêmement restreint de moyens mécaniques. Aussi le rendement par homme n'a-t-il été, en moyenne, que de 1 mètre cube de terrassement par jour.

Les viaducs métalliques, traversant des ravins profonds, sont composés d'éléments courts et légers, pour permettre leur montage sans attendre que la voie permît de les amener à pied d'œuvre. Aussi ces éléments n'ont pas plus de 2m 50 de longueur et pèsent au plus 100 kilogrammes, pour faciliter le transport à dos d'hommes ou par mulets (deux pièces de 40 kilogrammes par bête) et le montage avec un matériel restreint. Ce transport par mulets et coolies s'est effectué sur des trajets atteignant jusqu'à 22 kilomètres !

The Yunnan Railway, China.

The Yunnan Railway, which has been in normal service since April 1 1910, runs right up to Yunnan-Fou in the very heart of the Chinese province of Yunnan, 290 miles (465 kilometers) from Laokay on the Franco-Chinese frontier, and 480 miles (767 kilometers) from Hanoi, the capital of Tonquin, 530 miles (853 kilometers) from the harbor of Haiphong near the mouth of the Red River.

The Franco-Chinese treaty of 1885 at the close of the Tonquin war provided for the building of this railway, but it was only in 1898 that it was granted by China, and in 1901 that a Company was formed — la Compagnie Française des Chemins de fer de l'Indo-Chine et du Yunnan.

The cost of construction was estimated at 95 million francs ($ 19 000 000; £ 4 040 000), but owing to numerous difficulties, such as, the enormous increase in the amount of construction over the original estimate, the difficulty in obtaining, and the high cost of maintaining labor, the unhealthiness of the Namti valley, troubles in 1903, losses due to the variations in the rate of exchange of the Chinese piastre augmented by the Russo-Japanese war, etc., the Company was obliged to ask the Government to revise the concession. After due arbitration the estimate was fixed at 165 million francs ($ 33 000 000), and the amount of bonds garanteed by the French Government and that of the Colony increased from 76 to 89 million francs ($ 15 200 000 to 17 800 000).

Although this railway is a single line of 1 meter (3 ft. 3 3/8 ins) gauge, all sorts of complications and the abnormal importance of its constructive works have made it one of the most difficult railways that has been ever built any where in the world. It was constructed by two French Companies who had originally laid it out — the Société de Construction des Batignolles and the Régie Générale de Chemins de fer et Travaux publics.

The following " quantities " are of interest : the cutting involved the removal of 16 600 000 cubic meters (21 700 000 cubic yards), and at certain places ran to 75 000 cubic meters per kilometer of line (157 000 cubic yards per mile): the 155 tunnels have a total length of 17 kilometers (10,5 miles), and it was built 3 422 bridges of all sizes.

On the other hand, labor was extremely difficult to obtain, and when obtained of very poor quality, while the conditions were such as to very seriously limit the use of mechanical appliances. The average daily yield per man came out at only about 1 cubic meter (1,3 cubic yard) of earthwork.

The steel bridges, crossing profound ravines, are made up of short and light parts so as to allow of their being built before the rail-head reached them. These parts did not exceed 8 ft. 2 1/2 ins ($2^{m}50$) in length and at the most 220 lbs (100 kilograms) in weight, so that they could be carried either by men or by mules [two packets each weighing 88 lbs (40 kilograms) forming the load of the latter] and be easily erected with primitive appliances. This transport by coolies and mules had to be effected over distances as long as 14 miles (22 kilometers).

Le Chemin de fer de Djibouti à Addis-Abeba (Éthiopie).

En 1894, l'empereur Ménélick accorda à MM. Chefneux et Ilg la concession d'un chemin de fer reliant Djibouti, colonie française sur le golfe d'Aden, à Addis-Abeba, capitale de l'Éthiopie.

Les concessionnaires constituèrent une société : « La Compagnie Impériale des Chemins de fer Ethiopiens » qui, avec l'aide du Gouvernement français, réussit à exécuter la première partie de la ligne entre Djibouti et Diré-Daoua (station desservant Harrar), sur une longueur de 310 kilomètres; cette section put être ouverte à l'exploitation fin 1902.

En 1909, une nouvelle Compagnie, dite Compagnie du Chemin de fer Franco-Éthiopien, a été substituée à la Compagnie impériale.

Cette Compagnie s'est trouvée en présence de grandes difficultés : caractère désertique de la région traversée, insalubrité des chantiers, manque de main-d'œuvre et de moyens de transport, etc.

Au 31 décembre 1913, le grand viaduc métallique de 151 mètres sur l'Aouache, à 233 kilomètres de Diré-Daoua, était lancé, et fin décembre 1914 le rail atteignait le kilomètre 400. L'ouverture à l'exploitation jusqu'en ce point a été faite en mars 1915 et, avant la fin de l'année, la ligne entière jusqu'à Addis-Abeba sera ouverte, soit sur une longueur totale de 782 kilomètres, à partir de Djibouti. L'ensemble des travaux exécutés par les deux Compagnies s'élève à environ 110 millions de francs.

The Railway from Djibouti to Addis-Abeba (Ethiopia).

In 1894, the Emperor Menelick granted to Messrs Chefneux and Ilg, the right to build a railway connecting up Djibouti, a French colony in the gulf of Aden, with Addis-Abeba, capital of Ethiopia.

The concessionnaires formed a Company called : " La Compagnie Impériale des Chemins de fer Éthiopiens ", which, aided by the French Government succeeded in finishing the first part of the line between Djibouti and Diré-Daoua (a station for Harrar) for a length of 310 kilometers; this part of the line was opened for working at the end of 1902.

In 1909, a new Company, called " Compagnie du Chemin de fer Franco Éthiopien " was formed to replace the Imperial Company.

This Company found itself confronted, with great difficulties : the deserted nature of the district traversed, the unhealthiness of the country, the restricted supply of labour and means of transport.

On the 31st December 1913, the large steel viaduct of 151 meters length, on the Aouache, at 233 kilometers from Diré-Daoua, was thrown over and, at the end of December 1914, the track reached a length of 400 kilometers. The opening of the line up to this point was done in march 1915, and before the end of the year, the entire line as far as Addis-Abeba will be opened, that is, a total length of 782 kilometers from Djibouti. The whole of the work carried out by the two Companies will cost about 110 million francs.

Pont de Cernavoda, sur le Danube (Roumanie).

Ce pont, établi sur le grand bras du Danube, à Cernavoda, donne passage à la ligne de Bucarest à Constantza, le grand port roumain de la mer Noire. En raison des circonstances locales, l'établissement de cet ouvrage a présenté de grandes difficultés.

D'une part, le lit du fleuve, dans cette région voisine de son embouchure, subit des changements continuels : les bancs de sable graveleux ou vaseux qui le composent sur une grande épaisseur y sont, en effet, en perpétuel mouvement, et de grands affouillements s'y produisent ; la profondeur du fleuve en eaux moyennes, dépasse par endroits 14 mètres ; les crues atteignent jusqu'à 7 mètres de hauteur et s'étendent sur une largeur de près de 30 kilom. ; la vitesse du courant est alors d'environ 2 mètres et le débit est considérable. D'autre part, il y règne des vents d'une très grande violence et les variations de température y sont considérables (— 30° + 40°).

La congélation du fleuve pendant l'hiver donne lieu à des embâcles et surtout à des débâcles de glaces qui ne laissent subsister aucun ouvrage provisoire en rivière pendant cette saison.

Enfin, la Commission européenne du Danube, qui a le contrôle des conditions de la navigation, a exigé que le tablier fût établi à une hauteur permettant le passage en hautes eaux des plus grands voiliers qui peuvent circuler dans cette partie du Bas-Danube.

Le pont est construit pour une seule voie. Sa longueur est de 750 mètres : elle est divisée en cinq travées, dont une centrale de 190 mètres et les quatre autres de 140 mètres. La hauteur libre entre le niveau des plus hautes eaux et le dessous du tablier est de 30 mètres.

Les piles, en maçonneries au mortier de ciment, sont fondées sur des caissons métalliques d'une surface de 300 mètres carrés, foncés à l'air comprimé à une profondeur moyenne de 30 mètres sous le niveau des eaux ordinaires. Ces piles sont munies à l'avant de puissants brise-glaces en granit, disposés de façon à rompre les grands amoncellements de glaces qui se produisent aux débâcles. Les bancs de glaces, en venant frapper ces brise-glaces, s'élèvent par la vitesse acquise sur leur arête inclinée et se brisent par leur propre poids.

Les deux travées intermédiaires du tablier sont formées de maîtresses poutres du type « Cantilever », sur les consoles desquelles s'appuient, dans la travée centrale et les deux latérales, des poutres de forme semi-parabolique de 90 mètres de portée, qui y reposent au moyen d'articulations. Les poutres sont inclinées l'une vers l'autre de un dixième sur la verticale.

Le poids du tablier et des caissons de fondation est d'environ 6 500 tonnes et le volume des maçonneries est de 50 000 mètres cubes.

Le coût de l'ouvrage, qui a été exécuté par la Compagnie de Fives-Lille de 1891 à 1896, a été de 10 millions de francs.

The Cernavoda bridge over the Danube (Roumania).

The railway from Bucarest to Constanza, the great Roumanian port on the Black Sea, crosses the main channel of the Danube at Cernavoda. Owing to local conditions great difficulties were encountered in building this bridge.

On the one hand the river here is beginning to approach its mouth and is continually changing its bed, which is formed by a great thickness of sand, partly gravelly, partly muddy, in constant movement, thus causing much erosion. The depth of the river in ordinary conditions is over 46 ft. (14 meters) in places, but in flood it rises 23 ft. (7 meters), has a width of about 18 miles (30 kilometers), a velocity of over 6 ft. (2 meters) a second, and a considerable discharge. On the other hand, the country is subject to very violent winds and to great extremes of temperature, ranging from 22° below zero to 104° F. (— 30° to + 40° C.).

In winter the freezing of the river causes ice-jams, followed naturally by the breaking up of the same, thus utterly precluding all scaffolding or false-works during this season. Finally the European River Commissioners, who control all navigation on the Danube, required that the bridge should be built so as to admit of the passage, even in times of flood, of the large sailing vessels, which navigate in these lower reaches.

The bridge is for a single line of railway and has a length of 2 461 ft. (750 meters, or nearly half a mile), divided into five spans, the central one of 623 ft. (190 meters), and the others of 460 ft. (140 meters) each. The clearance between the highest flood level and the underside of the girders is 98 ft. (30 meters). The piers, in masonry built with cement-mortar, rest on metal caissons having a surface of 3 230 sq. ft. (300 square meters), sunk by means of compressed air to an average depth of 98 ft. (30 meters) below the normal surface of the river. These piers are furnished with powerful ice-breakers of granite, which lift the floes and ice-jams brought down by the current, so that they break up through their own weight.

The second and fourth spans of the bridge are formed of main girders of cantilever type, to the overhanging ends of which the other three spans, each consisting of trusses of semi-parabolic form having a chord of 295 ft. (90 meters), are connected by pin-joints. These trusses are inclined towards each other with a slope of one in ten.

The weight of the iron-work in the bridge and the caissons is about 7 165 short tons (6 500 metric tons), and the masonry cubes out at about 1 765 800 cubic ft. (50 000 cubic meters).

The work was carried out between 1891 and 1896 by the Fives-Lille C°, at a cost of 10 million francs ($ 2 000 000).

Pont de Cernavoda, sur le Danube.

The Cernavoda Bridge over the Danube.

Pont Troitsky, sur la Néva, à Petrograd.

The Troitsky Bridge, over the Neva, at Petrograd.

Pont Troïtsky, à Petrograd.

La construction de ce pont, sur la Néva, avait été confiée, à la suite d'un concours international auquel avaient pris part des Allemands, des Anglais, etc., à la Société de Construction des Batignolles, à Paris.

Sa longueur totale est de 480 mètres répartis en sept ouvertures, soit :

Un pont tournant comportant deux travées métalliques placées sur la partie la plus profonde du fleuve (13 mètres sous les basses eaux), donnant chacune un passage libre de 25m 60 lorsque le pont est ouvert à la navigation : un pont fixe composé de cinq travées métalliques en arc de cercle, disposées symétriquement par rapport à son milieu. L'ouverture libre de la travée centrale est de 96m 50, celle des deux travées intermédiaires de 76m 50, et celle des deux travées extrêmes de 53m 50.

La largeur libre du pont entre les garde-corps est de 23m 50, dont 17m 70 pour la chaussée et 5m 80 pour les deux trottoirs. Le tablier est en acier, aussi bien pour la partie fixe que pour la partie tournante.

Les piles et culées sont construites en maçonnerie et fondées à l'air comprimé sur des caissons descendus jusqu'à 23 mètres de profondeur.

Le pont tournant est formé de deux volées métalliques sensiblement symétriques par rapport à l'axe de la pile circulaire sur laquelle il repose. Lorsqu'il est placé normalement à l'axe du pont, l'extrémité de la volée, tournée vers l'amont, repose sur une pile de calage munie d'un brise-glace. Le tablier repose sur la maçonnerie de la pile-pivot par l'intermédiaire d'une couronne de galets sur laquelle s'effectue la rotation.

Ce pont, construit de 1898 à 1902, a coûté 14 millions de francs.

The Troïtsky bridge, at Petrograd.

After an international competition, in which British, German and other firms took part, the construction of this bridge over the Neva was entrusted to the Société de Construction des Batignolles of Paris.

It has seven spans and is 1575 ft. (480 meters) long.

Two spans over the deepest part of the river (42 ft. 8 ins = 13 meters in the dry season) form a swing-bridge giving two clear openings of 84 ft. (25m 60) each, when the swing is open for navigation. The rest of the bridge consists of five continuous arched girders of varying span arranged symmetrically, the central arch of 316 ft. 7 ins (96m 50) being flanked with two arches of 251 ft. (76m 50) each, while the two outer arches have each a span of 175 ft. 6 ins (53m 50).

The width of the bridge is 77 ft. (23m 50).

The piers and abutments are in masonry, built on caissons sunk to a depth of over 75 ft. (23 meters) by means of compressed air.

The opening portion of the bridge is formed of metallic girders practically symmetrical with the central circular pier, on which it swings on rollers running over a circular path. When open, the up-stream arm rests on a pier furnished with a cut-water to protect it from ice. This bridge was built between 1898 and 1902 at a cost of 14 million francs.

Table des Matières.

Avant-propos 5

Chemins de fer 7

La ligne franco-suisse Frasne-Vallorbe et le tunnel du Mont-d'Or . 18
Viaduc de Garabit 21
Viaduc du Viaur 24
Viaduc des Fades 27
Pont de Montanges 30
Pont de la Roche-Bernard 32
Viaduc et pont tournant de Caronte 34
Pont suspendu de La Cassagne 37
Viaduc de Fontpédrouse 40
Le chemin de fer Métropolitain de Paris 43
Le chemin de fer Nord-Sud de Paris 54
Chemins de fer du Massif du Mont-Blanc 57

Routes et Chemins vicinaux. — Automobiles 63

Pont Alexandre III, à Paris 67
Pont Adolphe, à Luxembourg, et pont des Amidonniers, à Toulouse . 71
Pont Sidi Rached, à Constantine 74

Canaux et rivières navigables 79

Canalisation de la Seine entre Rouen et Paris 84
Barrage de Poses, sur la Seine 87
Barrage d'Elbeuf, sur la Seine 91
La voie navigable du Havre à Marseille, par Paris et Lyon 95
Canal de Marseille au Rhône 99
Canal de la Marne à la Saône 105
Canal du Nord 109
Ascenseur des Fontinettes 111
Écluses du canal Saint-Denis, à Paris 114
Barrage de Tuilière, sur la Dordogne 116

Ports maritimes 119

Port de Dunkerque 124
Ports de Calais et de Boulogne 125
Port du Havre 126
Port de Rouen et Seine maritime 134
Ports de Cherbourg et de Brest 138
Port de Saint-Nazaire 139
Port de Nantes et Loire maritime 140

Port de La Rochelle-La Pallice 145
Port de Bordeaux 146
Port de Marseille 148
Ponts transbordeurs 151

Divers.

Services des Eaux et de l'Assainissement de la Ville de Paris . . . 154
La Tour Eiffel. 163

Travaux exécutés a l'étranger par des Ingénieurs français 168

Canal de Suez. 168
Canal de Panama 173

Ports maritimes 185

Port d'escale de Zeebrugge (Belgique). 187
Ports de l'Amérique du Sud : Para, Pernambuco, Bahia, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Montevideo, Rosario, Mar del Plata, Quequen, Puerto Belgrano, Talcahuano 190

Chemins de fer. 201

Chemin de fer des Alpes bernoises (Loëtschberg) 204
Chemin de fer du Yunnan (Chine) 206
Chemin de fer de Djibouti à Addis-Abeba 208
Pont de Cernavoda, sur le Danube 209
Pont Trotsky, sur la Neva, à Pétrograd 212

Contents.

Foreword 6

Railways 12

The Franco-Swiss line from Frasne to Vallorbe and the Mont-d'Or tunnel 20
The Garabit Viaduct 23
The Viaur Viadnct 26
The des Fades Viaduct 28
The Montauges Bridge 30
The La Roche-Bernard Bridge 32
The Caronte Viaduct and Swing Bridge 36
The Cassagne Suspension Bridge 38
The Fontpedrouze Viaduct 42
The Metropolitan Railways of the city of Paris 50
The Parisian underground railway "Nord-Sud" 56
The Mont-Blanc Mountain Railways 60

Highways and Roads. — Automobiles 64

The Alexander III Bridge, Paris 68
The Adolphe Bridge, Luxembourg, and the Amidonniers Bridge, Toulouse 72
The Sidi Rached Bridge, at Constantine 76

Canals and Rivers 82

The Canalisation of the Seine between Paris and Rouen 86
The Poses Barrage on the Seine 90
The Elbeuf Barrage on the Seine 93
The Navigable Waterway from Havre to Marseilles via Paris and Lyons 96
The Marseilles to the Rhone Canal 102
The Canal from the Marne to the Saone 107
The Northern Canal 110
The Fontinettes Hydraulic Lift Lock 113
The Saint Denis Canal Locks 115
The Tuilière Barrage on the Dordogne 118

Sea Ports 122

The Port of Dunkirk 124
The Ports of Calais and Boulogne 125
The Port of Havre 131
The Port of Rouen and the Maritime portion of the Seine . . . 136
The Ports of Cherbourg and Brest 138
The Port of Saint-Nazaire 139
The Port of Nantes and the Maritime portion of the Loire . . . 142

The Port of La Rochelle-La Pallice 145
The Port of Bordeaux 147
The Port of Marseilles. 150
Transporter Bridges 153

Divers 154

The water supply and drainage of the city of Paris 159
The Eiffel Tower 166

Engineering Work done by Frenchmen Abroad 171

The Suez Canal 171
The Panama Canal 180

Sea Ports 186

The Port of call of Zeebrugge in Belgium 189
French participation in the building of the Ports of South America : The ports of Para, Pernambuco, Bahia, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Montevideo, Rosario, Mar del Plata, Quequen, Puerto Belgrano and Talcahuano 196

Railways 202

The Bernese Alpine railway and the Loetschberg and Moutier-Granges tunnels 205
The Yunnan Railway, China. 207
The Railway from Djibouti to Addis-Abbeba. 208
The Cernavoda Bridge over the Danube, Roumania 210
The Troïtsky Bridge, at Petrograd 212

IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 1444-3-15.